

温帯モンスーン地域における溪流河川地形と取水方式の研究

山 本 光 男

Study on the Intake Methods Related to Morphology of Torrents in the Temperate Monsoon Zone

TERUO YAMAMOTO

*Faculty of Agriculture, MEIJI UNIVERSITY,
1-1-1 Higashimita, Tama-ku, Kawasaki, 214*

Received DECEMBER 3, 1990 ; Accepted JANUARY 22 , 1991

Synopsis. In the temperate monsoon zone, rainfall and runoff of torrents, of which coefficient of river regime are very big value, are in strikingly unbalance condition which changes not only seasonally and locally but hourly. Moreover rainfall and runoff of torrents are affected by river basin area, morphology, vegetation and so on. And rapidly discharge fluctuation, sharp hydrograph, violent riverbed fluctuation and large quantity of such wash load as sand-pebble-stone are also remarkable. In those torrents, the way of water intake and the type of torrent intakes should be suitable for torrent morphology, purpose of intake-water and quantity of intake-water. In this paper, the author described how we set the useful water utilization system in order that natural water supply consists with human water demand, in case of water supplying from torrents. Investigating torrent morphology, discharge regime, water intake method and actual conditions of executive instances of torrent, and making a study of the hydraulic model test of torrent intakes, the author clarified the hydraulic characteristics of torrent intakes, and got some useful knowledge about the type of diversion works. In particular, BAR SCREEN COMPOUND TYPE TORRENT INTAKE is wide usable as well as BAR SCREEN BACK STREAM INTAKE TYPE TORRENT INTAKE, those are developed in related to this study. As the result, the water utilization system consisted of multiple torrent intakes and reservoir is to be said very useful to stable supply of water for agriculture, water works and power, in the temperate monsoon zone.

目 次

- 1 ま え が き
- 2 溪流河川からの取水方式
- 3 溪流河川からの取水方式, 取水工の特性
 - 3.1 貯水池方式
 - 3.2 溪流取水工方式
 - 3.2.1 自然取水方式溪流取水工
 - 3.2.2 取水堰方式溪流取水工
 - 3.2.3 水クッション方式溪流取水工
 - 3.2.4 バースクリーン方式溪流取水工
 - 3.2.5 チッソ方式溪流取水工
- 4 溪流取水工群と貯水池とからなる利水システム
 - 4.1 溪流取水工群と全取水量貯留型貯水池とからなる利水システム
 - 4.1.1 溪流取水工と貯水池とからなる利水システムの成立
 - 4.1.2 わが国における溪流取水工群と全取水量貯留型貯水池とからなる利水システム
 - 4.2 溪流取水工群と補給水貯留型貯水池とからなる利水システム
 - 4.3 取水分離溪流取水工群と貯水池とからなる利水システム
- 5 水の供給と需要の整合
- 6 ま と め
- 7 あ と が き

1. ま え が き

温帯モンスーン地域の年降水量は2000mm/年 前後（日本約1800mm/年，台湾約2400mm/年）で世界の平均年降水量973mm/年 に比較して多い方であるが，降水による水の供給は季節的にも場所的にも著しく偏るために，自然の水供給と人間の水需要とは不整合な場合が少なくない。

一方，先端技術の導入による産業構造の急激な変化及び人口の増加と生活文化の向上は水需要の増大を助長し，自然の水供給を人間の水需要に整合させるための適切な利水システムの確立が不可欠になっている。

本研究は，温帯モンスーン地域における，溪流河川を水源とする取水方式ならびに溪流取水工の実態を調査し，溪流取水工の水理特性を究明すると共に，本研究に関連して開発した，バースクリーン後方取水型溪流取水工及びバースクリーン複合型溪流取水工の汎用性を明らかにし，自然の水供給と水需要とを整合させるための利水システムとして，溪流取水工（群）と河川本流外に設けた貯水池とからなる利水システムの特性と実態について論じたものである。

ここで，わが国では一般に，流域が小さく，河床勾配が急なために，流量の増減が急激で，多量の土砂・石礫が流下して，河床変動の激しい，山間部の溪流に設けられる取水施設を溪流取水工（mountain stream diversion works）と称している〔農業土木標準事典〕。この場合，山間，溪谷の流れを溪流（mountain stream）と云うようであるが，河川水理学的立場からすると，流域の大小にかかわらず，河川勾配が急で，河状係数が大きく（500以上），尖鋭なハイドログラフを呈し，多量の土砂・石礫が流下して，河床変動の激しい，山間・山麓地帯の河川を溪流（torrent）というのが適切である。このような溪流河川に設置される取水施設が溪流取水工（torrent intakes）であって，溪流取水工は，溪流河川地形，取水目的，取水量に応じた取水方式，型式でなくてはならない。

2. 溪流河川からの取水方式

一般に，溪流河川から取水する方式は，溪流河川を堰堤で締め切って，流域からの流入水を貯留し，必要な水量を取水する，貯水池方式と，溪流河川から用水路へ必要な用水を引き入れる，溪流取水工方式に大別することができる。

溪流取水工方式には，溪流河川の自然水位から直接あるいは導水して取水する，自然取水方式と，溪流河川を横切る堰を設けて取水する，取水堰方式のほかに，水クッション方式，バースクリーン方式，集水槽（管）方式，越流水俯角面付着取水方式，及びいくつかの方式を組み合わせた，複合型溪流取水工がある。

いずれの取水方式，取水工も，取水目的，取水量に応じて，溪流河川地形，流況に適した水

理特性を有するものでなくてはならない。

3. 溪流河川からの取水方式、取水工の特性

3.1 貯水池方式

一般に、貯水池方式による溪流河川からの取水方式は、河川本流を堰堤で締め切って流域からの流入水を貯留して取水する方式である。

溪流河川本流を堰堤で締め切って貯水池を建設することは、貯水池が集水と取水機能及び貯水機能を併せ持つことになるので、そのこと自体は利水上の効果を高めることになる。しかし、この取水方式によるときは、貯水池は、溪流河川水のみならず、自己流域から流入して来る、土砂・石礫、流水、汚水などあらゆる流下物を溜め込むために、貯水池の堆砂、埋没、水質の汚染等の不都合な問題が発生し易い。このような問題の発生は水源地帯の荒廃、流域の急速な開発、河川地形などによるものであり、流入土砂・石礫の貯水池内堆積は、貯水池の寿命を短縮するのみならず、貯水池下流側への土砂礫の供給を遮断するために、河床低下、海岸浸食の原因になっている場合が多い。一方、溪流河川の地形、地質、ならびに社会的条件などから、河川本流を締め切って貯水池を築造し得る適切な場所は非常にすくなくなっている。

後述の4. 溪流取水工（群）と貯水池とからなる利水システムで述べるように、溪流河川本流外の適当な場所に貯水池を建設し、自己流域外の溪流河川に設けた、溪流取水工（群）による取水を導水して貯留する利水システムは、貯水池の貯水容量を大きく上廻る利用水量を得ることができると共に、貯水池の堆砂を防止することができる。

3.2 溪流取水工方式

溪流河川からの取水には、古くから、河川地形、流況に応じて、巧みな、工夫を凝らした取水工があるが、洪水のたびごとに流失、損壊の被害を受け、その修復、維持管理に相当の労力と費用をかけて来たものが多い。

近年、コンクリートや鋼材等による、近代的な取水工が設置されるようになって、旧来のものに比べてはるかに優れた特性を有するものが多くなったが、多量の土砂・石礫、枝葉等が流下する溪流河川では、取り入れ口スクリーンが目詰まりや閉塞、構造物の摩耗、損壊によって取水障害が起こり易く、維持管理が容易でないものが多い。

溪流取水工の具備すべき要件としては、

- ① 急激な流量変化にかかわらず、安定した計画取水ができること。
- ② 流下土砂礫、種々の浮遊流下物によって取水障害が起こりにくいこと。

- ③ 流石、流木等に対して堅牢であること。
- ④ 構造が簡単で、維持管理が容易であり、その費用が低廉であること。
- ⑤ 取水制限流量等の取水規制がある場合には、その条件を確実に満たし得る措置を講じていること。
- ⑥ 冬季、積雪・凍結があるところでは、そのことによって、取水障害が起りにくく、損壊しにくいこと。
- ⑦ 周辺の環境、流況を損ねないこと。
- ⑧ 魚族の棲息環境を保証し得るものであること。

等を挙げることができるが、一つの溪流取水工で上記の要件をすべて満足し得るような溪流取水工を設置することは容易なことではない。特に、多量の土砂礫・巨石の流下する溪流河川では、溪流取水工の型式、水理構造のみならず、構造、施工面から摩耗、損壊に耐え得るものでなくてはならない。

溪流取水工の位置は、取水位と導水路との関係を検討して、必要な水量が取水でき、工事費ならびに維持管理に有利になるように、溪流河川の地形、流況を調査して決定するが、工事費の節減を図るあまりに、取水工の位置の選定を誤って、取水工の機能が十分発揮されず、維持管理に過大な労力と費用をかけるようになることのないようにしなければならない。

溪流取水工の位置の選定に当たっては次のような事項について考慮する必要がある。

- ① 洪水による洗掘、土砂礫の堆積など、河床変動が起りにくい、安定した地点であること。
- ② 溪流河床が鞍状になるような地点は土砂礫が堆積し易く、堆積土砂礫によって取水障害が起り易いので避けること。
- ③ 基礎地盤が良好で、溪流取水工の構造上の安定が得られ、施工に便利で、工事費が低廉な地点であること。
- ④ 上下流に及ぼす影響が少なく、維持管理に便利な地点であること。

なお、自然取水方式溪流取水工あるいは取水堰方式溪流取水工を設置する場合には、取り入れ口は溪流河川凹岸側、湾曲部中央部下流付近に設けることが望ましい。

3.2.1 自然取水方式溪流取水工

安定した水位を保っている、滝壺や淵があるところでは、適当な位置に取り入れ口を設けることによって、自然水位から直接安定した取水が可能である（直接取水型自然取水方式）。この方式の取水工は、構造的には最も簡単なものであるが、洪水時には、計画取水量以上の水量が流入するので、過剰流入水の制御、処理について適切な方策を講ずる必要がある。また、多量の土砂礫が流入し易いので、土砂礫流入防止工、あるいは沈砂池を設けて、土砂礫の流入防止と排除について検討しなければならない。

一般に、滝壺や淵は自然に形成された水クッションであって、洪水時の土砂・石礫によって埋没するようなことはない。

水資源開発公団三重用水建設所では、溪流御幣川の滝壺側方に取り入れ口を設けた、自然取水方式溪流取水工が建設されている。取水口は滝壺水面下に開口し、導水隧道内に沈砂池を建設して、滝壺周辺の原景観保全に配慮すると共に、取水制限流量を保証するための流量制御装置を設置している。

流量が変動して、自然水位からの安定した直接取水が困難な溪流河川では、砂礫、蛇籠などによって仮堰を築き、また、河川地形、流況によっては、河道に明渠導水路を開削して、取り入れ口まで渓流水を導いて取水する方式（明渠導水路型自然取水方式）をとることがある。しかし、これらの仮堰、明渠導水路は洪水のたびごとに流失、埋没され易く、取水量の規模によっては、その修復、維持管理に多大の労力と費用を要しているものがある。

3.2.2 取水堰方式溪流取水工

河床勾配が比較的緩やかで、河床が安定した地点に、溪流河川を横切って、固定堰、土砂吐（排砂門）を設置して計画取水位を確保する方式の取水工である。

この方式の溪流取水工は、溪流河川の地形、流況及び取水工の規模によって大量の取水が可能であるが、取り入れ口の位置、土砂吐ゲートの操作が適切でないと、取り入れ口前面に堆積した土砂礫の流入、除塵スクリーンが目詰まりなどによって取水障害が起こり易い。また、多量の石礫が流下する溪流河川では、コンクリート構造物の摩損、土砂吐ゲートの損壊が起こり易く、一般に維持管理は容易ではない。

溪流河川の地形、流況によっては、図-1に示すように、固定堰軸線より下流側に、固定堰々頂よりも高めの導流壁を設け、その末端部に土砂吐ゲートを設置して、土砂吐水路を形成し、沈砂池の機能を備えることができる。また土砂吐水路内で、十分な敷高が得られる位置に取り入れ口を設けることによって、砂礫の流入を防止し得ると共に、導流壁下流端に欠口を設け、常時小流量を越流々下させることによって、落葉等の浮遊流下物を放流することができる。

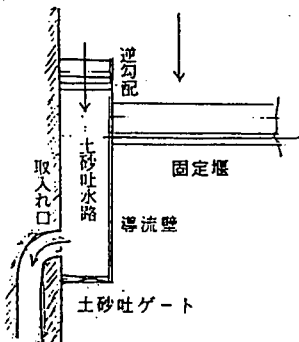


図-1 軸線違いの取水堰概要図

取水堰方式溪流取水工の固定堰々体の断面形は、一般に上流面を鉛直あるいはこれに近い勾配とし、下流面は緩勾配の台形断面を修正した放物線形曲面に水承(bucket)を設けた形状とするが、石礫が大量に流下する溪流河川では、砂防堰堤のように、上流面を緩勾配とし、下流面は鉛直に近い急勾配にすることによって、落下する石礫による損壊を防止することができる。

3.2.3 水クッション方式溪流取水工

この方式の溪流取水工は、溪流河川を横切って越流堰（堰堤）を設置し、その段落斜面直下部に水クッションを設け、水クッション側方または後方に設けた取水口（孔口）、あるいは水クッション底床部下方に設置した集水槽または集水管によって取水するものである。

水クッション内の流況は、常時は常流状態（tranquil flow）を保ちながら取水ができ、設計流量を越える出水時には射流状態（shooting flow）になって、水クッション内の堆砂礫及び流下石礫は掃流排除される水理構造になっている。

図-2に示すように、水クッション底床部水平長が段落斜面高さとはほぼ同等のとき、水クッションの深さ（デフレクター這い上がり高さ）は次式によって算定することができる。⁽¹⁾

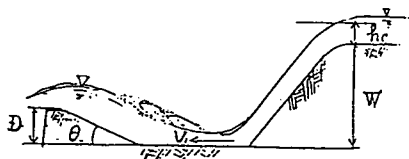


図-2 水クッション概要図

$$D \geq \left\{ \left(1 + 2k \frac{V_1}{V_c} \cos^2 \theta \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right\} h_c \dots \dots \dots (1)$$

D : 水クッションデフレクター這い上がり高さ (m)

h_c : 水クッション設計流量に対する限界水深 (m)

θ : デフレクター斜面傾斜角 (度)

k : デフレクター斜面上の水面形状補正係数

($\theta = 14^\circ \sim 30^\circ$ のとき $k = 0.93 \sim 1.01$)

$V_c = \sqrt{gh_c}$: 設計流量に対する限界流速 (m/s)

$V_1 = \alpha \sqrt{2g(W + 1.5h_c)}$: 段落斜面趾端における突込み水脈の水平底床面方向の流速 (m/s)

$\alpha = 0.8 \sim 0.9$

g : 重力の加速度 (m/s²)

W : 段落斜面高さ (m)

ここで、水クッション設計流量は1年に1～2回程度発生する洪水量から取水量を差し引いた流量とする。

なお、段落斜面流下流量に対する水クッション底床面に沿う流速 V_1 と段落斜面落ち口における限界流速 V_c との関係は

$$\frac{V_1}{V_c} = \left\{ 2 \left(\frac{W}{h_c} + 1.5 \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2)$$

となる。いま、段落斜面高さ $W = 1 \sim 5 \text{ m}$ 、とすると、 $V_1/V_c = 2 \sim 2.7$ となって、水クッション底床面に沿う流速は段落斜面落ち口における流速よりも大きくなる。したがって、段落斜面流水脈が水クッション底床面に突入後の掃流力は、段落斜面落ち口における掃流力の4倍以上になるので、流下土砂礫が水クッション底床面に堆積して取水に支障を来すようなことはない。このことは、滝壺が絶対に埋没しないことによっても明らかである。

段落斜面の傾斜角は、溪流取水工の型式、段落高さ等によって $45^\circ \sim 60^\circ$ とする。

デフレクター這い上がり高さは、段落斜面高さ、水クッション設計流量、デフレクター斜面傾斜角によって決められるものであるが、デフレクター這い上がり高さが等しいときはデフレクター斜面傾斜角が小さいほど水クッション内の流況が常流状態から射流状態に移行する流量は大きくなる。また水クッション内の土砂礫は掃流され易くなる。

デフレクター這い上がり高さを大きくすると取水量は大きくなる。

(1) 水クッション側方取水型溪流取水工

図-3に示すような、水クッション側方取水型溪流取水工は、段落斜面部と水クッション部を主要構造とし、水クッション内を常流状態に保ちながら、側壁の片面あるいは両面に設けた取水口（孔口）から取水する。

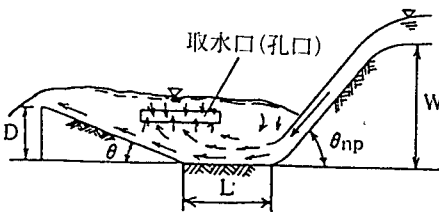


図-3 水クッション側方取水型溪流取水工

取水量は、段落斜面の高さ W 、段落斜面の傾斜角 θ_{np} 、水クッションの幅、底床部水平長 L 、デフレクター斜面の傾斜角 θ 及びデフレクターの高さ D 、取水口（孔口）の大きさとその位置によって設定される。

水クッションの長さは幅よりも大きくし、底床部水平長は段落斜面高さ程度または $1.5 \sim 2$ 倍程度とすると共に、水クッションの幅は、平水時、段落斜面の上流側における流砂の移動限界流量が計画取水量の2倍以上になるようにするのがよい。取水口（孔口）はデフレクター斜面這い上がり始点を中心に設け、流量係数は 0.6 程度とすればよい。水クッション内の水位が低下して、取水口が欠口の状態になると流量係数は 0.7 前後になる。⁽²⁾

取水口（孔口）はあらかじめ大きめに開口しておき、角落し堰によって取水量を調節するとよい。また、取水と共に浮遊流下物が流入し易いので、除塵スクリーン、あるいは阻壁を取り付ける必要がある。

取水口（孔口）はあらかじめ大きめに開口しておき、角落し堰によって取水量を調節するとよい。また、取水と共に浮遊流下物が流入し易いので、除塵スクリーン、あるいは阻壁を取り付ける必要がある。

溪流河川流量が水クッション設計流量以上に増水するときは水クッション内は射流状態になり、水クッション内の堆砂礫は完全に掃流排除されるが、取水口が露出して取水できる。

落差 2 m 前後のとき、約 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ の取水が可能である。

(2) 水クッション後方取水型溪流取水工⁽³⁾

図-4は、段落斜面によって誘導された突込み水脈の分流と水圧による流入水を後方に取水する、水クッション後方取水型溪流取水工の概要図である。

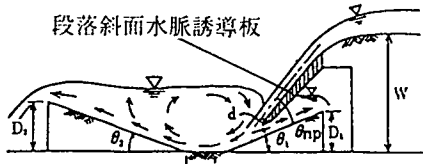


図-4 水クッション後方取水型溪流取水工

厚さが薄く、材料及び施工面で構造上の欠点がある。

水脈誘導板が損壊されると、所定の水脈突込み角が保たれなくなるので、巨大な石礫が流下する溪流河川には適さない。

溪流河川の流量が取水量の2倍以下に減少し、さらに全量取水の状態になると、比重の小さい浮遊流下物が取水と共に流入し、取り入れ口を閉塞するようになる。

(3) スクープタイプ (SCOOP TYPE) 溪流取水工⁽⁴⁾

この型式の溪流取水工は、前述(1)、(2)の溪流取水工とは異なり、図-5に示すように、下流側流出口(デフレクター)の高さが上流側流入口の敷高よりも高くなるように、溪流河床にくぼみ(bowl, scoop)(水クッション)を作り、平水時には、水クッション内を常流状態に保ちながら、側壁に設けた取水口(孔口)から取水し、増水時には、水クッション内が射流状態になって、常流状態のとき水クッション内に沈積した土砂礫及び流下石礫を自動的に掃流排除し得るような水理構造になっている。しかし、水クッション内が射流状態になるときは、取水口が露出して、取水が停止する。

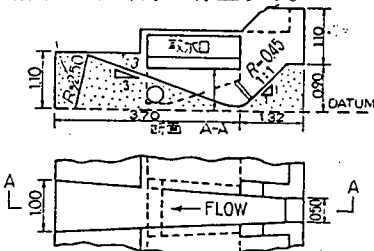


図-5 スクープタイプ溪流取水工

図-5に示すスクープタイプ溪流取水工は、スコットランド西北部において、発電水力のために、比較的流域面積の小さい溪流河川に設置する取水工として開発されたものである。水理模型実験の結果から、最適形状としての寸法を無次元化表示している。数値に設計流量

(ft^3/s)の $2/5$ 乗を掛けると、各寸法はフィート単位で求められるようになっている。

(4) 水クッション集水管(槽)方式溪流取水工

集水管による取水量は、管径、管長、勾配、帯水槽の透水係数、湛水深等に左右される。一般に管径1.0~1.5m、管長1m当りの集水量は1.0~1.5ℓ/s程度であるので、計画取水量が大きい場合には長大な集水管を埋設する必要がある、取水工地点、溪流河川地形の制約を受け易

い。

図-36に示すような、溪流河床面下に集水管を埋設した、集水管方式溪流取水工は、周辺の景観を損ねることが少なく、清水の取水が可能であるが、溪流河川の流量が少なく、全量取水の状態になると、落葉や腐植等によって、濾過層の目詰まりが起り易い。また出水時には、集水管の露出、損壊、流失などの障害が起り易く、一般に維持管理は容易でない。

図-6は、水クッション底床部下方に集水槽を設置した、水クッション集水槽方式溪流取水工である⁽⁵⁾。水クッション内は常時湛水状態に保ちながら、増水時には水クッション内の掃流力を高めて、濾過層の目詰まり防止を図る水理構造としたものである。

段落高さ0.5m前後、段落斜面傾斜角 45° 、水クッション底床部水平長0.5~1.0m、逆勾配

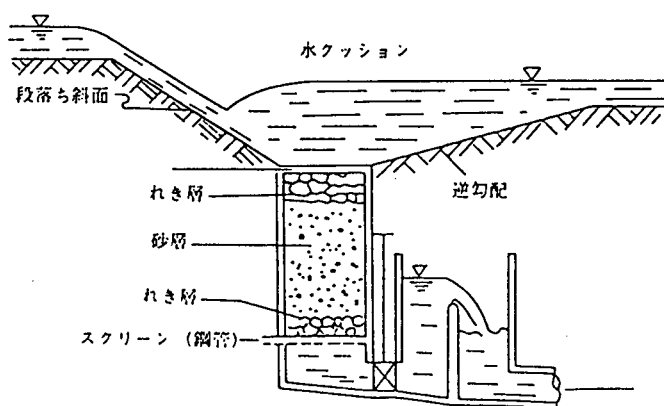


図-6 水クッション集水槽方式溪流取水工

（デフレクター）斜面傾斜角 $12^\circ \sim 15^\circ$ のとき、単位幅当り集水量は $30 \sim 40 \text{ l/s}$ で、取水量は少ないが、溪流河床面下に敷設する、一般の集水管方式のものに比べて安定した清水の取水が可能である。小規模な簡易水道、畜産団地等の溪流取水工に適する。

3.2.4 バースクリーン方式溪流取水工

バースクリーン方式溪流取水工は、溪流河川を横切って固定堰を設置し、堰広頂部に水平または傾斜したバースクリーンを取り付けて、バースクリーンからの落下水を堰体内に設けた集水路に受けながら取水する形式のものと、越流堰（固定堰）越流斜面、あるいは砂防堰堤または床固め工下流側に集水路を設けて、取水量に応じた水理諸元のバースクリーンを取り付け、バースクリーンから下方への落下水を取水する型式のものほかに、固定堰段落斜面に、 60° 前後の傾斜角でバースクリーンを取り付け、バースクリーン斜面に沿って流下する流下水脈（ナップ）が水平底床に突入して、バースクリーン隙間から後方への逆流水を取水する型式のものがある。

バースクリーン隙間から下方に取水する型式の溪流取水工は、一般に、バースクリーン取り付け角度が水平か、 30° 以下であるために、取水と共に多量の土砂礫が流入する。また、石礫、枝葉等の浮遊流下物による目詰まりが起り易い。

バースクリーン取り付け角度を $45^\circ \sim 50^\circ$ と大きくし、下方取水型と後方取水型の両機能を備

えた、複合型溪流取水工は目詰まりが起りにくく、平水時は勿論、高水時の大量取水を目的とする場合に適する。

(1) バースクリーン下方取水型溪流取水工

本型式の溪流取水工は、オーストリア、チロル地方で開発されたことに因んで、わが国では、チロルタイプ (tyrolean type) と呼ばれ、これまでのところ施工事例の多い溪流取水工である。

固定堰越流斜面、あるいは砂防堰堤水叩き根固め下流側、または、落差工の下流側に、計画取水量に応じたバーの隙間幅、長さ、及び傾斜角で取り付けたバースクリーンによって、流下水から石礫、流木、枝葉等を分離排除しながら、バースクリーン隙間からの落下水を集水路に受けて、取水する型式のものであるが、出水時には、取水と共に多量の土砂が流入する。

取水量は、バースクリーンの取り付け角度、バーの長さ、バー隙間幅、バースクリーン設置幅等によって決まる。

バーの所要長さは、バー上流側の流量 Q_0 (m³/s) が計画取水量に等しく、図-7 に示すように、全量取水になる場合を考えて、(3)式によって求める。

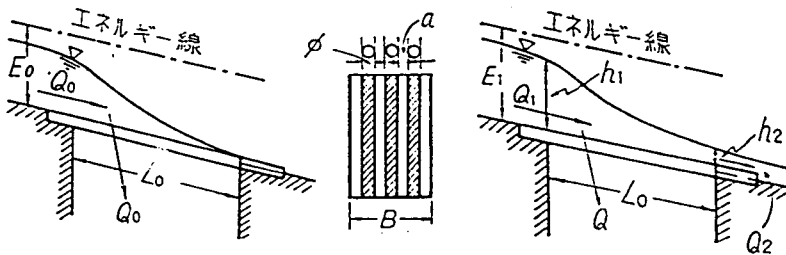


図-7 バースクリーン諸元

$$L_0 = \frac{Q_0}{\mu \Psi B \sqrt{2gE_0}} \quad (3)$$

L_0 : 全量取水に必要なバーの長さ (m)

μ : 流入係数, 0.6前後

Ψ : 開度 ($=\Sigma a/B$)

a : バーの隙間幅 (m)

B : バースクリーン設置幅 (通水幅) (m)

E_0 : 上流側水路底より測ったエネルギー水頭 (m)

g : 重力の加速度 (m/s²)

洪水時に、バースクリーン上流側での流量 Q_1 (m³/s) が計画取水量を上廻る場合には、流下水はバースクリーン隙間から落下すると共に、バースクリーン下流端からも流去する。このとき、バースクリーン上流端及び下流端における水深を h_1 (m), h_2 (m), 上流側水路底より測ったエネルギー水頭を E_1 とすると、バーの長さ L_0 との関係は(4)式ようになる。

$$L_0 = \frac{E_1}{\mu \Psi} \left(\frac{h_1}{E_1} \sqrt{1 - \frac{h_1}{E_1}} - \frac{h_2}{E_1} \sqrt{1 - \frac{h_2}{E_1}} \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

(4)式によって、バースクリーン下流端における流去水の水深 h_2 が求まると、そのときバースクリーン下流端から流去する流量 Q_2 (m³/s) は、

$$Q_2 = B h_2 \sqrt{2g(E_1 - h_2)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

によって求められるので、バースクリーン隙間からの落下水量 Q (m³/s) は、

$$Q = Q_1 - Q_2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。一般に $Q_0 < Q$ であるので、集水路及び余水吐等の諸元は(5)式で求めた落下水量を考慮して決めるとよい。^{(6) (7)}

流量係数 μ の値は、バースクリーン取り付け角度、隙間幅、水深、設置方法等によって異なるが、越流堰下流側にバースクリーンを取り付ける場合、バー取り付け角度が30°より小さいときには、 $\mu = 0.6$ 程度としてよい。⁽⁸⁾

バーの断面形状、大きさによっては、流下水の一部がバーに付着して下流端から流去するので、流下水を完全に取水して計画取水量とするためには、バーの長さは理論値の2倍以上を必要とすることがある。

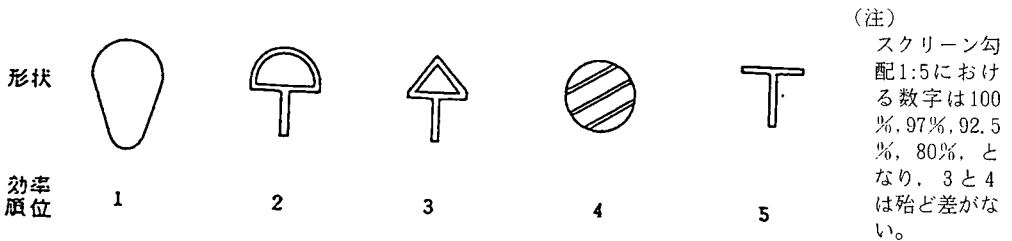


図-8 バー形状と効率の比較

バースクリーン下方取水型溪流取水工は、清水の取水であれば、バースクリーンの取り付け角度が小さく、バースクリーン隙間幅（開度）が大きくて、バーの長さが長いほど単位幅当りの取水量は大きくなる。しかし、土砂・石礫・落葉などの浮遊物の流下が多い溪流河川では、バースクリーンの取り付け角度を小さくした場合には、開度が小さいと目詰まりが起こり易く、開度を大きくすると砂礫の流入が多くなる。また、バーの長さが長くなると、巨石、流木などによるバーの変形、損壊を受け易い。

一般にバースクリーン下方取水型溪流取水工のバー取り付け角度30°以下、バースクリーン隙間幅20～30mm、バーの長さ1m前後のとき、単位幅当り取水量は0.1～0.3m³/s/mである。

施工事例の実態をみると、落葉、石礫によって目詰まりが起こり、取水機能が低下するために、洪水のたびごとに、バースクリーンに張り付いた落葉や、バースクリーンの隙間に嵌入した石礫の除去、清掃を実施している。

10箇所の溪流取水工群からの取水を調整池（貯水池）に導水している、電源開発尾上郷水力には、バースクリーン隙間幅130mm、バーの長さ2.0m以上、バー取り付け角度10°前後で図-

33に示すような、集水槽土砂溜を設けたバースクリーン下方取水型溪流取水工が設置されている。取水量は大きくなるが石礫の流入も多く、集水槽土砂溜は一洪水ごとに砂礫で満杯になるので、その都度、水槽前面の角落しを取り外し、人力または機械力で排除している。直径100mm、長さ2m以上の鋼管を用いたバーは巨石の流下によって、湾曲、変形し易いので、容易に交換し得る構造になっている。

バースクリーン下方取水型溪流取水工は、平水時の取水を目的とする場合には、洪水後の適切な維持管理によって、バースクリーンの取水機能を回復することができるが、平水時のみならず、高水時の取水を目的とする場合には、バースクリーンの目詰まりによって、著しく取水機能が低下し、取水不能になることがある。

図-9は、昭和48年(1973)、山梨県、釜無川(富士川)支流御勅使川に建設された、県営灌漑排水事業御勅使川溪流取水工の構造概要図である。この溪流取水工は、段落高さ5.22mの砂防堰堤水叩き(長さ16.6m)末端根固め上下流側に、管径100mm、実効長70.6cmのガス管を用いたバーを隙間幅40mm、傾斜角度30°で取り付け、バースクリーン下方取水型溪流取水工である。バースクリーンの設置幅は、水理模型実験結果に基づいて推奨された20mが、施工段階で40mに変更された。バースクリーン設置幅が広いために、水叩きに石礫が堆積する箇所が

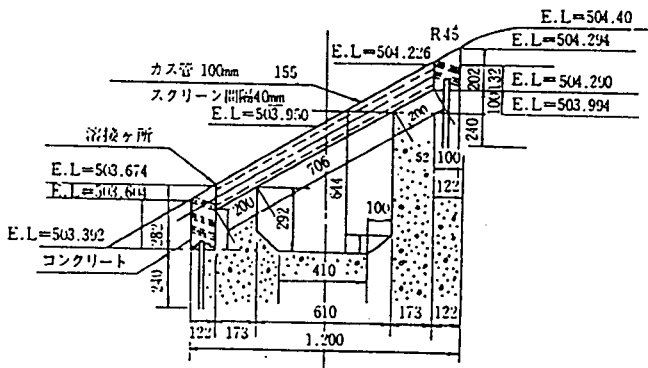
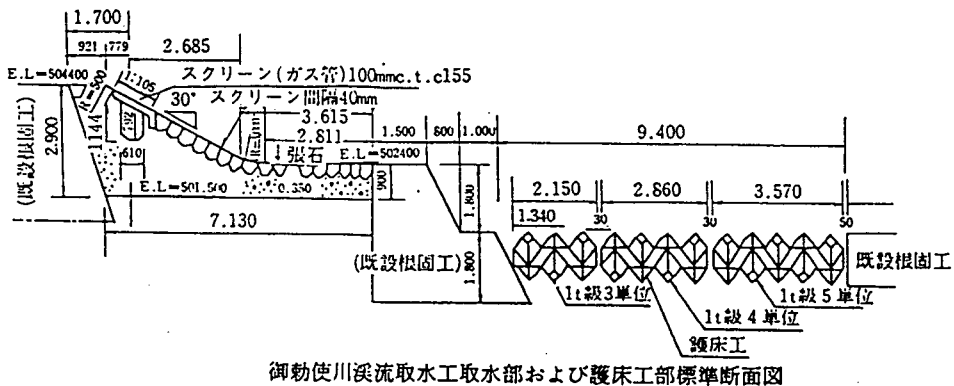


図-9 御勅使川溪流取水工

あり、設置幅全体に様に通水しにくく、平水時、バースクリーンに流下水がかからないところもあるが、計画取水量が小さく、バースクリーンの目詰まりが広範に及んだ場合でも、一応、所期の取水は行われている。しかし、砂防堰堤の上流に砂利採取所があり、洪水時には、流域の山地崩壊が起こり易い地形であるので、土砂礫の流下が激しく、集水路に多量の土砂が流入すると共に、バースクリーンの目詰まりも著しい。洪水のたびごとに、バースクリーンに嵌入した石礫の取り除き作業を行っているが、自然流入方式であった旧取水施設と比べると、はるかに安定した取水が保証され、維持管理も容易になっている。洪水時には、高さ5mの砂防堰堤から径50～60cmの巨石が流下しているが、10数年経過した時点で、バーは一部摩耗による損傷が見られたが、変形したものはほとんど無かった。

(2) バースクリーン後方取水型溪流取水工⁽⁹⁾

図-10に示す、バースクリーン後方取水型溪流取水工は、水クッション後方取水型溪流取水工(図-4)の流下水脈誘導板の代わりに、高さ W の段落斜面に、バー(管径 ϕ の鋼管)を一定間隔 $a(=15\sim20\text{mm})$ に配列して、構造上の弱点を改善すると共に、バースクリーン取り付け角度を $\theta=60^\circ$ 前後にして、摩耗・損壊に強く、補修し易い構造とし、バースクリーン下方取水型溪流取水工が、多量の土砂礫が流入し、石礫、浮遊流下物によって、目詰まりが起こり易い点の改善を図って開発したものである。この型式の溪流取水工は、バースクリーン段落斜面部と、水クッション部が主要な構造となっている。

取水目的、取水量に応じた、段落斜面高さ W 、斜面傾斜角すなわちバースクリーン取り付け角度 θ 、バー隙間を管径の約 $1/2$ の高さまで埋め込んだ、流下水脈誘導斜面の長さ l_1 、バースクリーン隙間の長さ l_2 、バースクリーン隙間幅 a 、後方取水量調整ゲート(取り入れ角落し堰)の高さ D_1 、水クッション底床部水平長 L_2 、水クッションデフレクター(逆勾配)這い上がり斜面の傾斜角度 θ_2 、その高さ D_2 等の諸元を決定し、取水条件を設定することによって、安定した計画取水ができるように考案したものである。

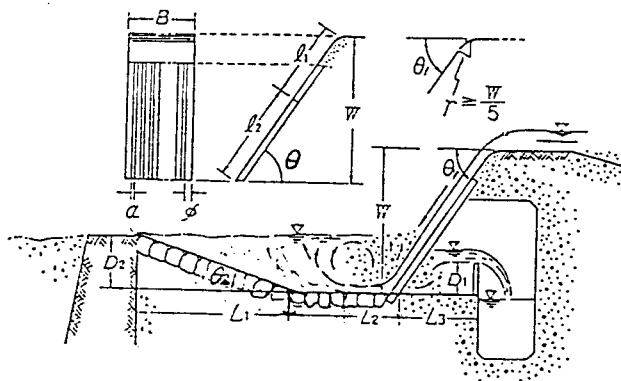


図-10 バースクリーン後方取水型溪流取水工

図-11に示すような実験装置によって、バースクリーン後方取水型溪流取水工の水理構造諸元について、水理模型実験を行った結果、次のような水理特性を有することを明らかにした。(10) (11) (12) (13)

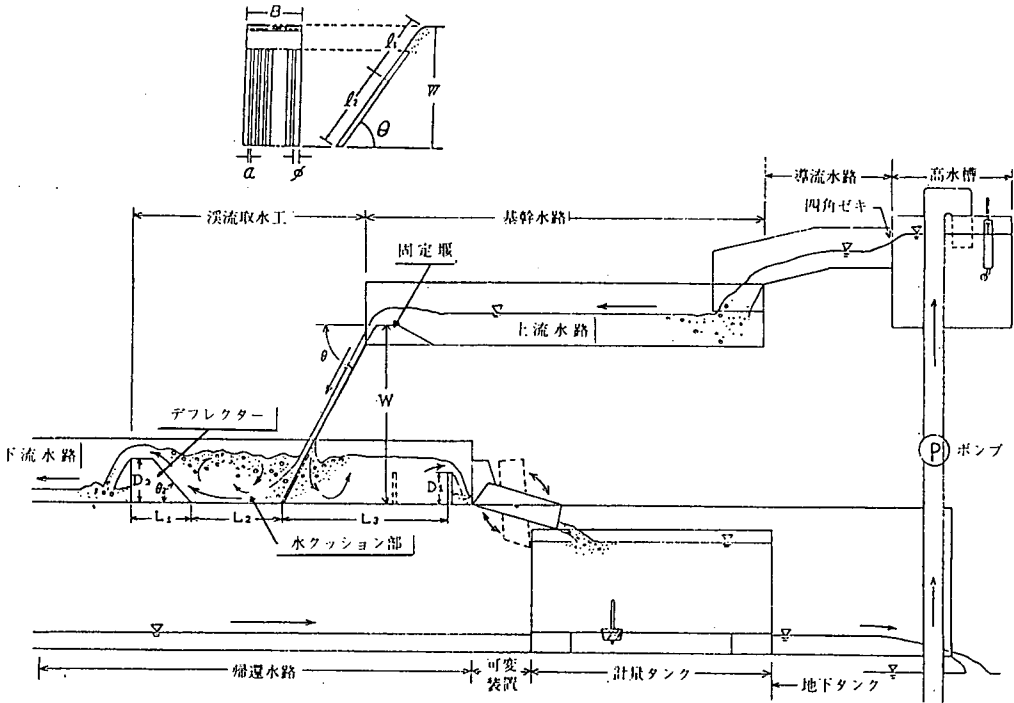


図-11 バースクリーン後方取水型溪流取水工水理実験模型配置図

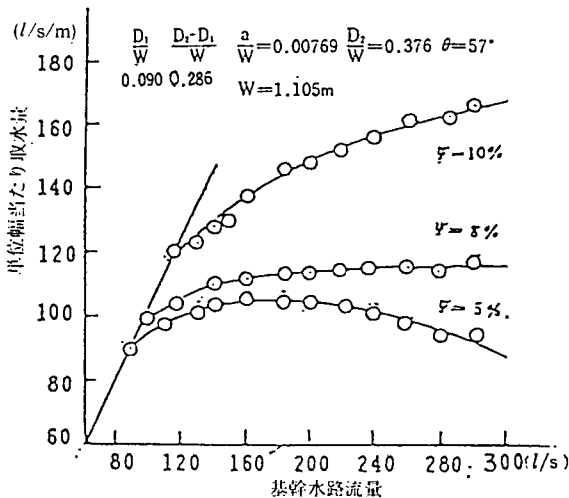


図-12 バースクリーン開度と後方取水量の安定性

- ① 図-10において、段落斜面高さ $W=1.105\text{m}$ 、バー管径 $\phi=48\text{mm}$ 、バースクリーン隙間幅 $a=8.5\text{mm}$ 、バースクリーン取り付け角度 $\theta=57^\circ$ 、水クッションデフレクター這い上がり斜面傾斜角度 $\theta_2=14^\circ$ 、 $\phi/W=0.0434$ 、 $a/W=0.00769$ 、 $L_1/W=1.511$ 、 $L_2/W=0.335$ 、 $L_3/W=0.516$ 、 $D_1/W=0.09$ 、 $D_2/W=0.376$ が等しい場合、バースクリーン開度 $\Psi [= \sum a l_2 / B (l_1 + l_2)]$ と上流基幹水路流量及び後方取

水量との間には、図-12に示すように、水クッション内が常流状態である場合には、バースクリーンの開度 $\Psi=8\%$ 前後のとき、上流基幹水路流量の変化にかかわらず、後方取水量はほぼ一定になる。

- ② 図-11における実験水路段落部に、バースクリーン後方取水型溪流取水工の水理実験模型が、想定原型に対して、froudeの相似則により、縮尺が $1/4$ になるように実験装置を据え付けた。

段落斜面高さ $W_m=1.213\text{m}$ 、水路幅 $B_m/2=0.5\text{m}$ 、バー管径 $\phi=25\text{mm}$ 、バースクリーン隙間幅 $a_m=5\text{mm}$ 、バースクリーン取り付け角度 $\theta=60^\circ$ 、流下水脈誘導斜面の長さ $\ell_{m1}=0.695\text{m}$ 、バースクリーン隙間の長さ $\ell_{m2}=0.705\text{m}$ 、バースクリーン開度 $\Psi=8\%$ 、後方取水量調整角落し堰の高さ $D_{m1}=0\sim0.05\text{m}$ 、 $D_{m1}/W_m=0.041$ 、デフレクター斜面傾斜角度 $\theta_2=45^\circ$ 、デフレクター高さ $D_{m2}=0.315\text{m}$ 、 $D_{m2}/W_m=0.260$ 、 $L_{m2}/W_m=2$ と設定したとき、実験の結果、常流状態最大後方取水量 $Q_{m2}/2=0.065\text{m}^3/\text{s}$ を得た。これを単位幅 $B_m=1\text{m}$ 当りに直すと、 $Q_m=0.130\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ になる。

相似則により、想定原型の段落高さ W 、水路幅 B 、バー管径 ϕ 、バースクリーン隙間幅 a 、常流状態最大後方取水量 Q 、単位幅当り取水量 q を算定すると

$$\begin{aligned} W &= 4 W_m = 4.852\text{m} & B &= 4 B_m = 4\text{m} \\ \phi &= 4 \phi_m = 100\text{mm} & a &= 4 a_m = 20\text{mm} \\ Q &= 4^{\frac{5}{2}} Q_m = 4.16\text{m}^3/\text{s} & q &= Q/B = 1.04\text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

となる。

この結果から、バー外径 $\phi=100\text{mm}$ 、バースクリーン隙間幅 $a=20\text{mm}$ 、バースクリーン開度 $\Psi=8\%$ 、バースクリーン取り付け角度 $\theta=60^\circ$ 、水クッションデフレクター斜面傾斜角度 $\theta_2=45^\circ$ 、 $L_2/W=2$ 、 $D_1/W=0\sim0.04$ 、 $D_2/W=0.26$ を一定にして、段落斜面高さ $W=0.5\sim5.0\text{m}$ に対する、単位幅当り常流状態最大後方取水量を求めると、図-13のようになる。

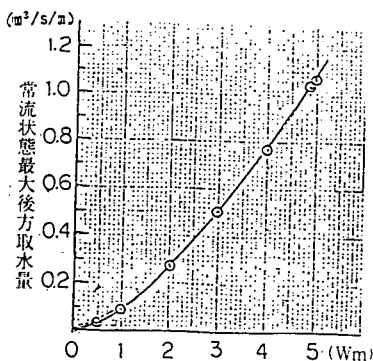


図-13 段落高さ W と単位幅当り最大後方取水量 q_{max} との関係

- ③ 段落斜面高さ $W=1.213\text{m}$ 、段落斜面傾斜角度 $\theta=60^\circ$ 、デフレクター斜面傾斜角度 $\theta_2=45^\circ$ 、バースクリーン開度 8% のとき、水クッションデフレクター這い上がり高さ D_2 及び底床部水平長 L_2 、取水量調整角落し堰高さ D_1 、バースクリーン隙間幅 a と、単位幅当り常流状態最大後方取水量との関係を示すと図-14のようになる。

バースクリーン隙間幅が小さくて角落し堰の高さが低く、デフレクターの高さ及び底床

部水平長が大きいほど常流状態取水量は大きくなるが、水クッション底床部水平長 L_2 が段落斜面高さ W の2倍以上になると常流状態最大取水量はほぼ一定になる。

デフレクター斜面傾斜角度は、溪流河川地形、流況、段落斜面高さ等によって、 $\theta_2=15^\circ \sim 45^\circ$ とするが、 θ_2 が大きいほど後方取水量は大きくなる。しかし、落差が小さい場合には、 $\theta_2=15^\circ$ 前後にすると水クッション内の掃流力は大きくなる。

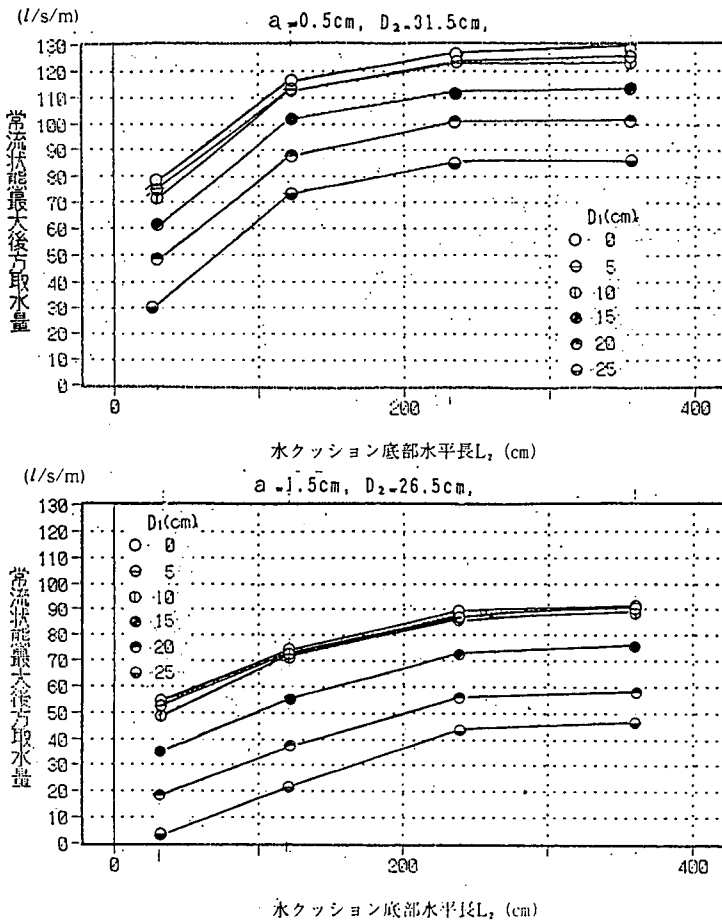


図-14 $W=121.3 \text{ cm}$, $\theta=60^\circ$, $\theta_2=45^\circ$, $\Psi=8\%$ のとき,
 a , D_1 , D_2 , L_2 と常流状態最大取水量との関係

- ④ 段落斜面高さ $W=1.213 \text{ m}$, バースクリーン取り付け角度 $\theta=60^\circ$, $D_2/W=0.26$, $L/W=2$, バースクリーン開度 $\Psi=8\%$ のとき, バースクリーン隙間幅長 l_2 隙間幅の総和 Σa との比 $l_2/\Sigma a$ と単位幅当り常流状態最大後方取水量との関係を示すと図-15 のようになる。開度 Ψ が一定のときは, バースクリーン隙間幅 a が小さく, 隙間幅の長さ l_2 が大きいほど後方取水量は大きくなる事が分かる。

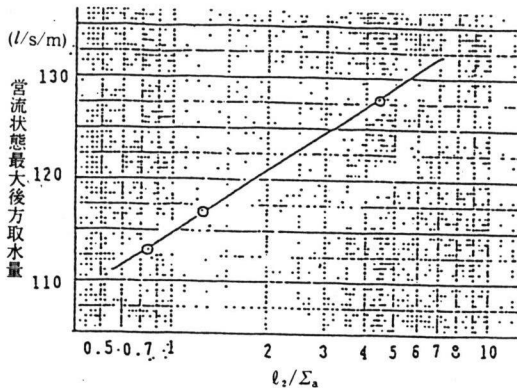
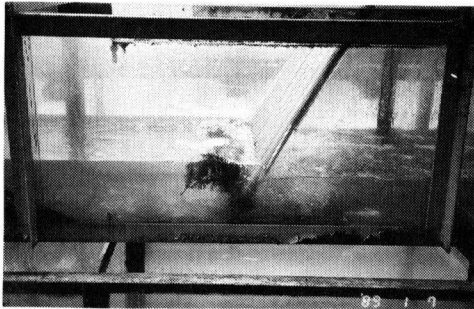
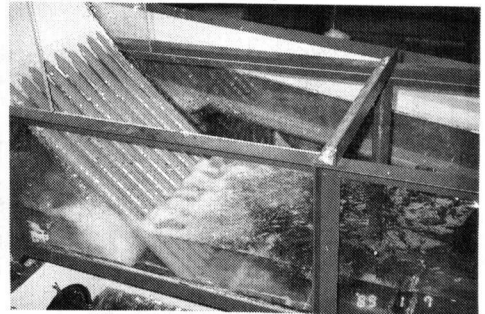


図-15 $\theta = 60^\circ$, $D_2/W = 0.26$, $L_2/W \approx 2$, $\Psi = 8\%$ のとき, $l_2/\Sigma a$ と最大取水量との関係



$W = 1.22\text{m}$, $\theta = 60^\circ$, $\Psi = 8\%$



$W = 0.75$, $\theta = 50^\circ$, $\Psi = 8\%$

写真1 低落差バースクリーン後方取水型溪流取水工, バースクリーン取付け角と目詰り防止効果

この場合, バースクリーン取り付け角度を $\theta = 45^\circ \sim 50^\circ$ と緩やかにすると, 図-16に示すように, 段落斜面流水脈は, バースクリーン隙間からバースクリーン下端部裏面に落下して, 空気混入流となる。この空気混入流は, バースクリーン下端で盛上がり, エアリフト効果を発揮するために, 水クッション内に流入した落葉等の浮遊流下物は, バースクリーン下端部で上昇する気泡と共に浮上して, 水クッションデフレクターの方に押し流され, バースクリーンの目詰りは起こりにくくなる。

なお, 段落斜面高さが低く, 取水量の少ない, 小規模のバースクリーン後方取水型溪流取水工は, 水クッションにはデフレクターを設けず, その部分には底勾配を付けると共に, 角落し堰を取り付けて, 溪流の流量に応じて, 水クッションの水深を調節し, 水クッション内に滞留する落葉, 土砂を適宜排除し得る構造にすると維持管理は容易になる。角落し堰には, 小さな欠口を設けて, 常時小流量が越流々下するようにすると, 落葉等の浮遊流下物は越流々下水と共に流去して, バースクリーンの目詰りは起こりにくくなる。

- ⑥ バースクリーン開度が8%前後のとき, 上流基幹水路(溪流河川)流量が増大して, 水クッション設計流量を越えて, 水クッション内が常流状態から射流状態に移行する増水時

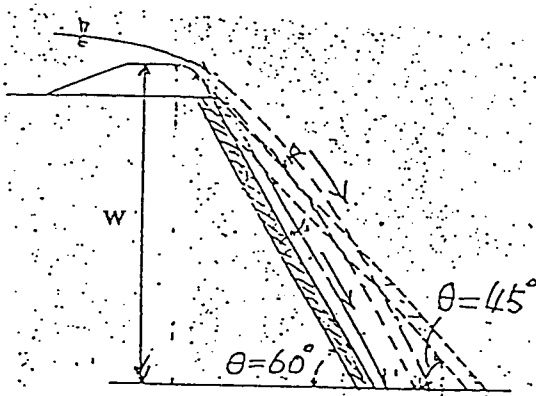


図-16 低段落差、小流量時の斜面流下形態

常流状態から射流状態に移行したときの流量よりもかなり小さい流量にまで減少しても、なお射流状態を保ちながら後方取水量は減少して行く。水クッション内の射流がデフレクターを越流し得なくなるまで流勢が減衰するか、なんらかの衝撃が加わると、水クッション内の流況は、ストカステックに射流状態から、常流状態に復元し、後方取水量も当初の一定量に戻る。

このことは、水理学的には非常に興味深い履歴現象であるが、高水時の取水を目的とする利水システムでは、短時間でも取水量が減少することになるので、取水目的に応じて、水クッション設計流量ならびに水クッションの深さ及び長さが大きくなるようにする。

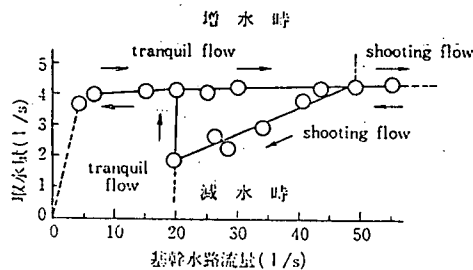


図-17 水クッション後方取水型溪流取水工幹線水路流量との関係（実験例）

上記のような水理特性を有するバースクリーン後方取水型溪流取水工は、取水目的、取水量に応じて設定する、後方取水量調節ゲート（取入れ角落し堰）以外には、開閉操作を行うゲート類を特に必要としないので、工事費の節減を図ることができると共に、維持管理を容易にすることができる。

本型式の溪流取水工は、溪流河川地形、取水目的、取水量に応じて、汎用性のある溪流取水工として、設計、施工事例が多くなっている。

図-18は、昭和61年（1986）6月、水資源開発公団三重用水建設所、溪流河内谷川に建設されたバースクリーン後方取水型溪流取水工の構造図である。段落斜面高さ $W=2.60\text{m}$ 、段落斜

面傾斜角度（バースクリーン取り付け角度） $\theta = 57^\circ$ ，バースクリーンは，外径 $\phi = 114.3\text{mm}$ ，長さ 2.42m の市販鋼管を用い，バー隙間幅 $a = 20\text{mm}$ ，開度 $\Psi = 7\%$ に取り付けている。

水クッションは，底床部水平長 $L_2 = 1.5\text{m}$ ，デフレクター斜面傾斜角度 $\theta_2 = i4^\circ$ ，這い上がり高さ $D_2 = 1.0\text{m}$ で間知石張り工としている。

河川協議により，取水制限流量は，一度取り入れたのち，所定の流量を保証するため，還元口から元の溪流河川に戻す構造になっているので，取水制限流量を含めた最大計画取水量 $3.03\text{ m}^3/\text{s}$ に対して，バースクリーンは，単位幅当り取水量 $0.22\text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ となるように，取り入れ角落し堰を調整し，設置幅 $B = 14.0\text{m}$ としている。

昭和61年（1986）6月竣工以来試験取水を続け，平成元年（1989）8月から本取水を開始している。低水時，全量取水量状態を継続すると，流況によって，水クッション内デフレクター斜面上に堆砂をみることがあるが，バースクリーン下端部は，バースクリーン斜面流下水脈によって掃流されるので，後方取水に支障を来すような状態になったことはない。

溪流河内谷川の流量が増大して，計画取水量の2倍以上になると，水クッション内の堆砂礫は掃流々下されている。また，高水時には，長径 1m 以上の巨石が流下しているが，水クッション内に堆積残留することもなく，取水工，特に，バースクリーンの摩耗，損壊の被害は発生していない。

本取水開始直後，平成元年（1989）8月27日，台風19号による洪水によって，隣接溪流員弁川に設置している，バースクリーン下方取水型溪流取水工（チロルタイプ）は，枝葉，石礫によって，全面的に目詰まりが起こり，取水不能の状態に陥ったが，溪流河内谷川バースクリーン後方取水型溪流取水工は，洪水中も，洪水後も，設定した計画取水量を保ちながら，安定した取水を継続している。

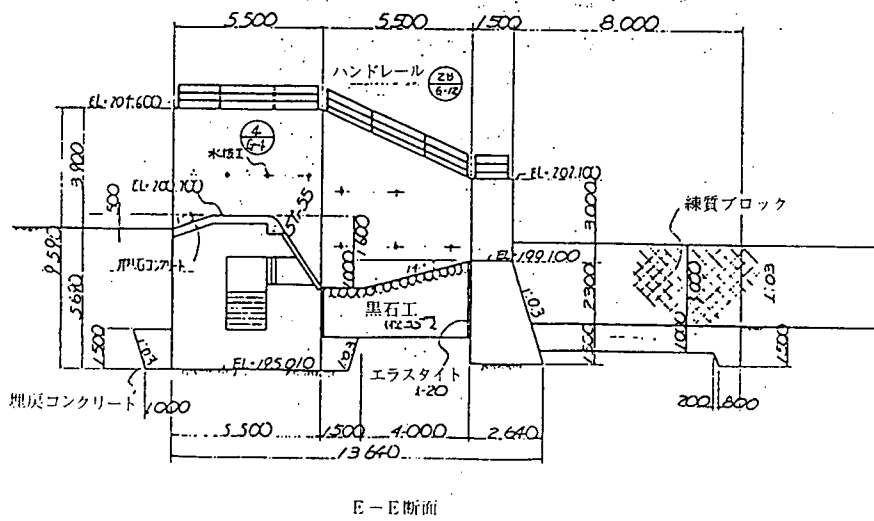
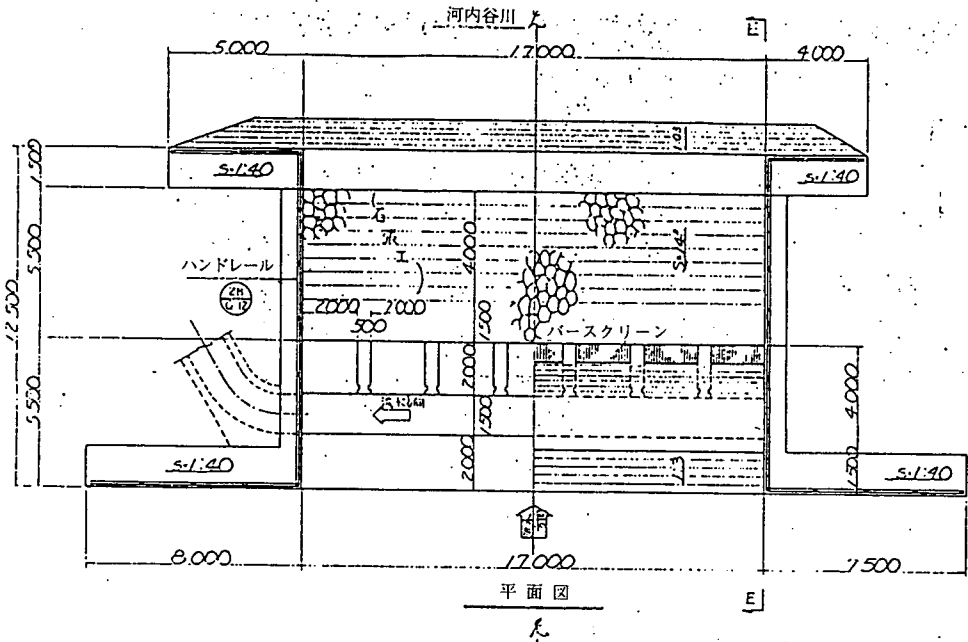


図-18 三重用水河内谷川スクリーン後方取水型溪流取水工事概要図

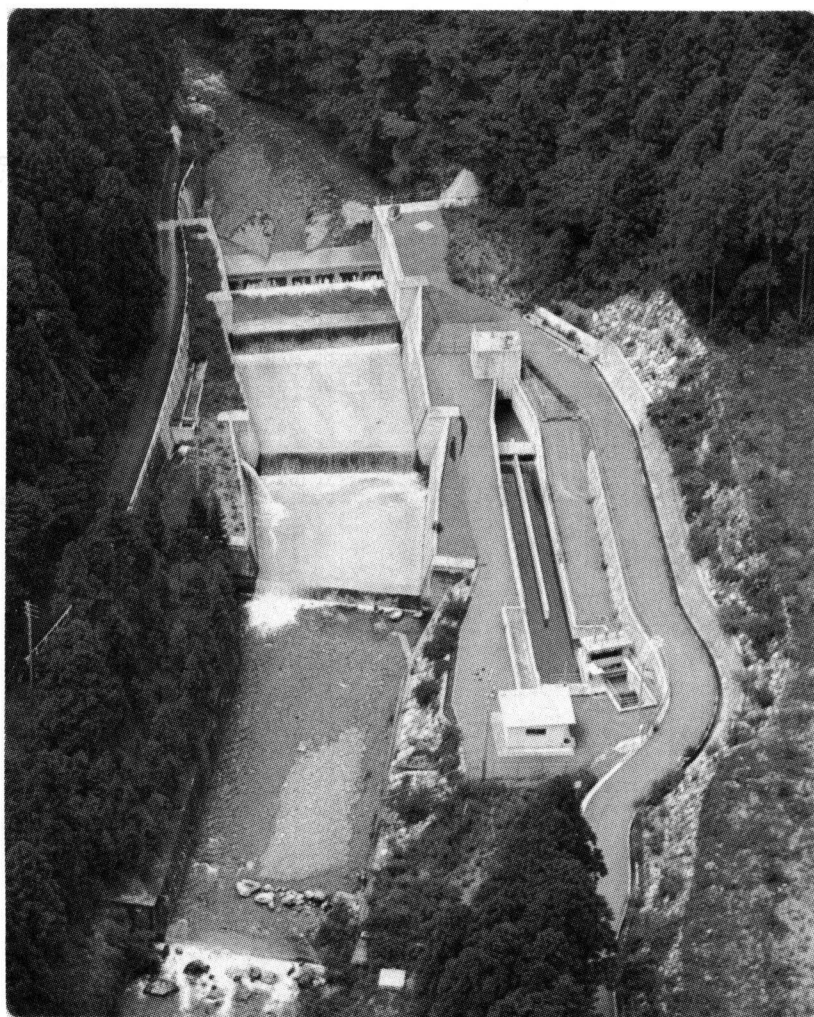


写真2 三重用水河内谷川バースクリーン後方取水型溪流取水工全景

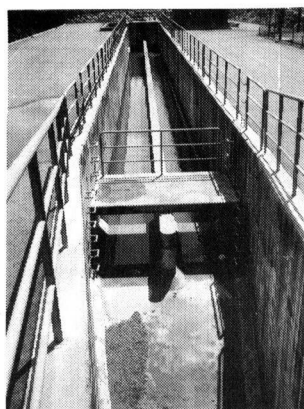
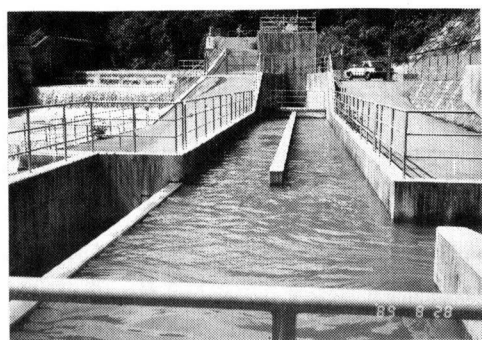
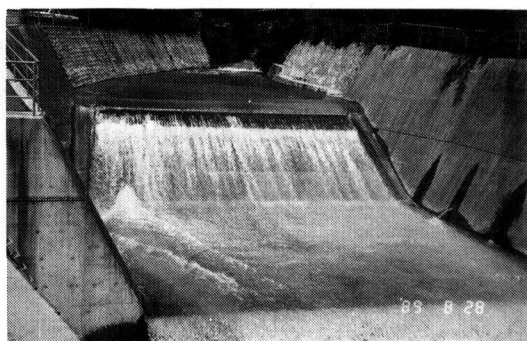
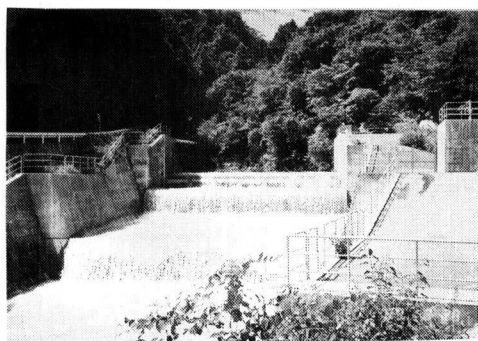


写真3 三重用水河内谷川バースクリーン後方
取水型溪流取水工、安定取水状況
(1989, 台風19号直後)

写真4 三重用水員弁川バースクリーン下方取
水型溪流取水工、取水停止状況
(1989, 台風19号直後)

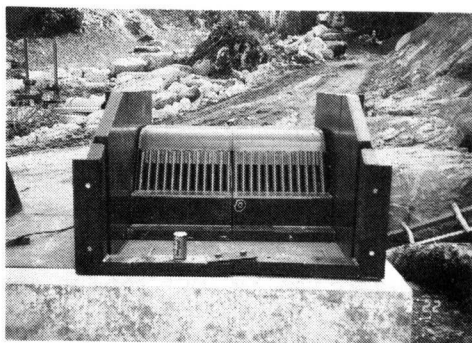
図-19は、昭和61年(1986)8月、長野県営夜間瀬地区灌漑排水事業、奥志賀高原劔沢に設置されたバースクリーン後方取水型溪流取水工である。この溪流取水工は、計画最大取水量 $Q=0.056\text{m}^3/\text{s}$ で、規模は小さく、イワナの棲息環境を保证するために、段落傾斜高さ $W=0.70\text{m}$ 、バースクリーン取り付け角度 $\theta=60^\circ$ 、設置幅 $B=1.50\text{m}$ 、デフレクター斜面傾斜角度 $\theta_2=14^\circ$ 、這い上がり高さ $D_2=0.25\text{m}$ としている。バーは外径 $\phi=60\text{mm}$ 、長さ 0.75 の鋼管を用い、イワナの稚魚が流入するのを防ぐために、バースクリーン隙間幅 $a=5\text{mm}$ 、開度 $\Psi=8\%$ としている。

平水時には安定した計画取水が可能であり、冬季積雪下においても所期の取水機能を保持しているが、段落斜面高さが小さく、バースクリーン取り付け角度が大きいために、低水時全量取水の状態になると、バースクリーン斜面流水は、水クッション内に流入したのち、バースクリーン後方に流入するようになるので、水クッション内に流入した、落葉等の浮遊流下物はバースクリーンに引き寄せられて張り付き、目詰まりを起こして、取水機能の低下を来している。適宜水クッション及びスクリーンの清掃を行って、取水機能の回能を図っているが、バースクリーン取り付け角度の調整、目詰まり防止対策について検討を行っている。

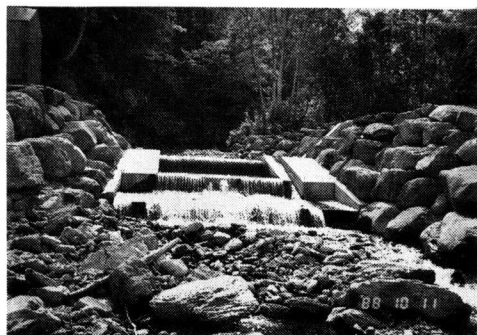
釧路溪流取水工地点の河床は、やや鞍状を呈した地形であるために、洪水末期の流下土砂礫が堆積し易く、また、当該溪流取水工の段落斜面高さが小さいために、洪水の減水が急な場合には、水クッション内に石礫が残留することがある。昭和61年（1986）9月2日から3日にかけて、奥志賀地方を襲った台風15号は、39mm/hrの集中豪雨をもたらし、当該地区数箇所の溪流に設置されていた、集水管方式溪流取水工はすべて破壊、流失する被害があったが、釧路溪流取水工は、石礫の残留堆積によって、取水不可能になったものの、構造物の損壊はなく、堆積土砂礫の除去によって、正常な取水機能を回復している。

図-20は、バースクリーン取り付け角度を $\theta=45^\circ$ 、1単位幅0.55mとした鋼製の可搬・組立式バースクリーン後方取水型溪流取水工の構造図である。段落斜面高さ $W=0.3\text{m}$ 、バー外径 $\phi=27.2\text{mm}$ 、バーの長さ $l_2=0.23\text{m}$ 、バースクリーン隙間幅 $a=8\text{mm}$ としている。最大取水量 $Q=0.02\sim0.03\text{ m}^3/\text{s}$ とする、小溪流に設置する取水工として開発したものである。バースクリーンの傾斜角度及び設置幅は現地に据え付ける際に調整する。

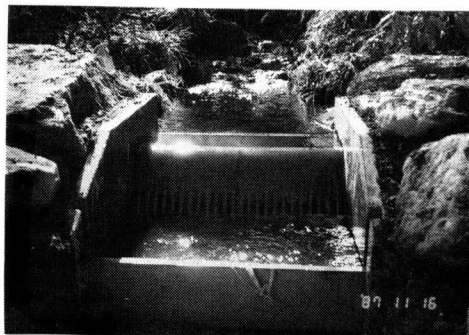
同型の溪流取水工は、奥志賀高原大清水溪流に設置されて、経年的機能調査を行っている。



集水管方式溪流取水工、被災状況（1986、台風15号）



バースクリーン後方取水型溪流取水工



夜間瀬地区大清水溪流取水工（1987）

写真5 夜間瀬地区大沢溪流取水工災害復旧前後

写真6 可搬式バースクリーン後方取水型溪流取水工

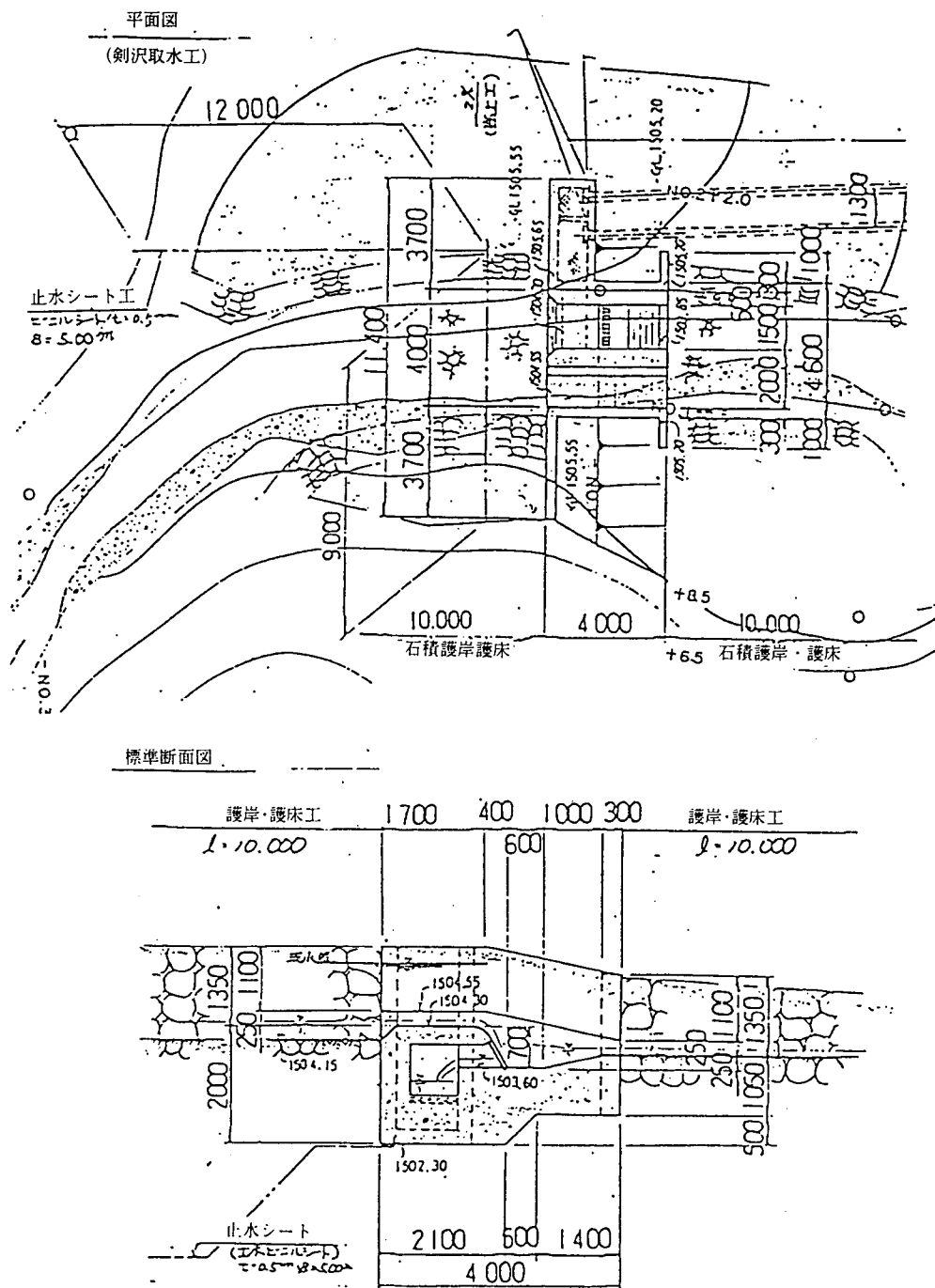


図-19 夜間瀬地区鉾沢バースクリーン後方取水型溪流取水工構造図

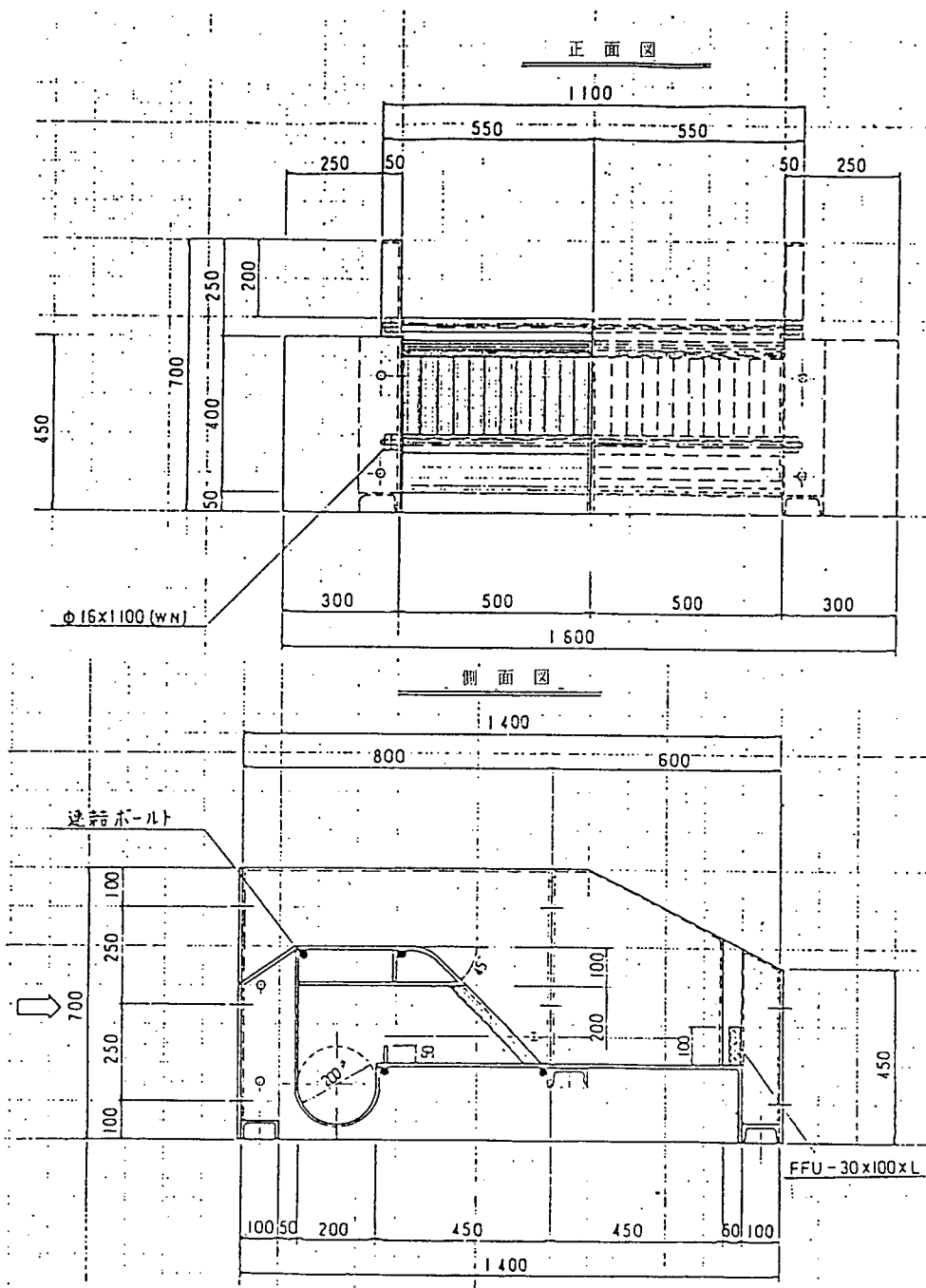


図-20 可搬組立式バースクリーン後方取水型溪流取水工構造図

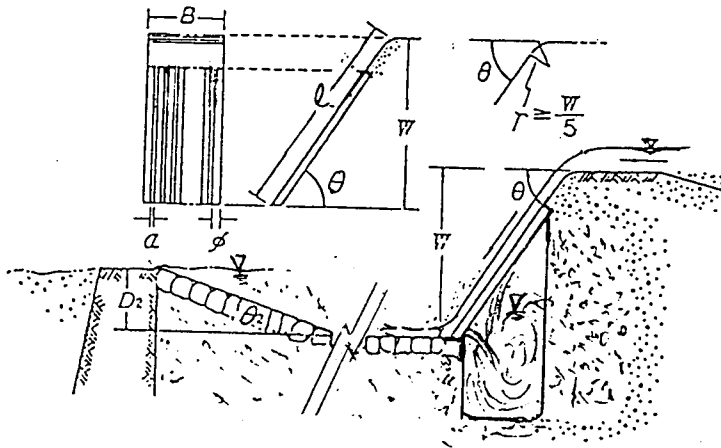


図-21 バースクリーン複合型溪流取水工

(3) バースクリーン複合型溪流取水工⁽¹¹⁾

前述のように、バースクリーン下方取水型溪流取水工（チロルタイプ）は、バースクリーンの取り付け角が小さく、バースクリーン隙間幅が大きくて、バーの長さが長いほど単位幅当たり取水量は大きくなる。しかし、多量の土砂・石礫、枝葉の浮遊物が流下する溪流河川では、バースクリーンの取り付け角度が小さい場合には、開度が小さいと目詰まりが起こり易く、開度を大きくすると砂礫の流入が多くなる。また、バーの長さが長くなると、巨石、流木によって変形、損傷を受け易い。

これに対して、バースクリーン後方取水型溪流取水工は、目詰まりが起こりにくく、バースクリーンも堅牢で、設定した条件に応じて安定した計画取水が可能であるが、単位幅当たり取水量を大きくするためには、相応の段落斜面高さを必要とする、また、バースクリーン下方取水型溪流取水工に比べて、構造がやや複雑で工事費も少しかさむ。

図-21に示す、バースクリーン複合型溪流取水工は、バースクリーン後方取水型溪流取水工の集水路をバースクリーン下方取水型溪流取水工と同様に簡単な構造としたものである。あるいは、バースクリーン下方取水型溪流取水工のバースクリーン取り付け角度を $45^{\circ} \sim 50^{\circ}$ と大きくし、バースクリーン下流側に水平底床、さらに水クッションを付加したものである。両者の優れた特性を十分具備する溪流取水工として開発したものである。

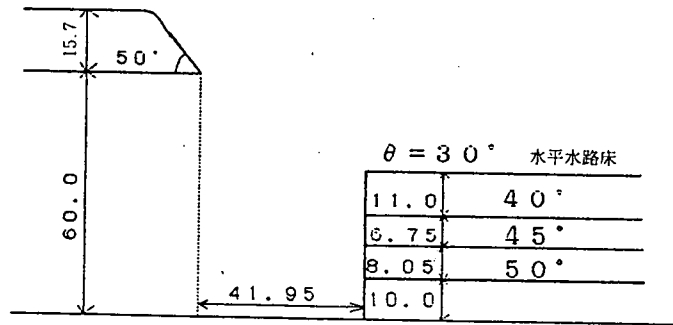


図-22 バースクリーン複合型溪流取水工実験装置のバースクリーン取付段落部関係図

表-1 バースクリーン複合型溪流取水工水理実験取水率

デフレクターなし

バー取付角度	上流水路流量 (ℓ/s)	取水率 (ℓ/s)	取水率 (%)
30°	46.000	31.806	69.114
40°	46.000	33.239	72.258
45°	46.000	35.300	76.738
50°	46.000	37.545	81.619

デフレクターあり

40°	46.000	39.618	86.127
45°	46.000	41.963	91.224
50°	46.000	42.302	91.960

上下流共に、幅50cm、深さ50cm、長さ5mの樹脂ガラス製水平水路からなる、落差60cmの段落水路段落部に、図-22に示すように、バーの水平長さ（集水路幅）41.95cmは一定にして、バースクリーン取り付け角度に応じて、バースクリーン下流側の水平水路床敷高を調整し得るバースクリーン取り付け段落部を設け、外径 $\phi=48$ mmの塩ビパイプを用い、バースクリーン隙間幅 $a=8$ mm、バースクリーン取り付け角度を $\theta=30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ$ とした、開度が $\Psi=13.6\%$ のバースクリーンを設置した、4種類のバースクリーン複合型溪流取水工水理模型実験によって、水理構造諸元と水理特性とについて究明した。表-1に示すように、バーの管径 ϕ 、バースクリーン隙間幅 a 、バー水平長（集水路幅）、バースクリーン開度が等しい場合には、バースクリーン取り付け角度が大きくなると目詰まりが起りにくくなるのは当然であるが、取り付け角度が大きくなるほど取水率は少しずつ増加する。

バースクリーン開度 $\Psi=13.6\%$ し、バースクリーン取り付け角を $30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ$ とした場合について、(3)式によって流量係数を求めると、 $\mu=0.6\sim0.55$ となる。

バースクリーン下流側に水平底床、さらに、デフレクターを設置して水クッション部を形成して、バースクリーン複合型溪流取水工が構成される。バースクリーン隙間からの下方落下水に加えて、水平底床、水クッション部からの後方流入水があるために、バースクリーンからの

下方落下水のみを取水する場合に比べて、取水量は増大する。

バースクリーン複合型溪流取水工は、集水路の幅が一定の場合、バースクリーン取り付け角度を大きくするほど、段落斜面流水脈はバースクリーン隙間から落下流入し易くなると共に、後方取水量も多くなるので、取水量は増大する一方、石礫、浮遊流下物による目詰りは起りにくくなる。現地に適用される場合の、バースクリーン取り付け角度は $\theta = 45^\circ \sim 50^\circ$ が適当である。

本型式の溪流取水工の取水量は、段落斜面高さ、デフレクターの高さ等の水理諸元に影響されると共に、溪流河川の流量によって増減する。高水時、溪流河川の水位が上昇して、取水工が完全に潜りの状態になると、取水量は溪流河川水位と集水路出口との水位差によって決まり、浮遊流下物は勿論、流下石礫による、バースクリーンの目詰まりは起りにくい。

本型式の溪流取水工は平水時の取水のみならず、高水時の取水を目的とする場合に適する。

本型式溪流取水工のバースクリーンが完全潜りの状態になるときの取水量 $Q \text{ m}^3/\text{sec}$ は次式によって算定することができる。

$$Q = \mu \Psi B L_0 \cos \theta \sqrt{2 g H} \quad \dots\dots\dots (7)$$

H : 完全潜り状態になったときの溪流河川水位と、集水路出口水位との差 (m)

L_0 : 計画取水量全量取水に必要なバーの長さ (m)

μ : 流量係数, 0.55程度

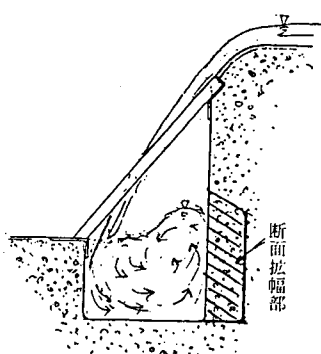
Ψ : バースクリーン開度

B : バースクリーン設置幅 (m)

g : 重力の加速度 (m/s^2)

θ : バースクリーン取り付け角度 ($45^\circ \sim 50^\circ$)

バースクリーン方式集水路の水理諸元は、一般に、貯水池側溝余水吐に準じて算定しているが、バースクリーン複合型溪流取水工の集水路は、図-23に示すように、バースクリーン隙間からの落下水は、集水路断面下流側側壁に突込んだ後、上流側側壁に沿って上昇する二次元流



を生起するために、主流方向の流速が減少すると共に集水路の水位が上昇する。したがって適正な集水路の水理諸元を算定することは容易ではない。

本学及び台湾水利局水工試験室における水理模型実験により、次の方法で集水路の水理諸元を求めると、計画取水量を支障なく取水し得ることを確め、実用化に移している。

① 集水路の幅はバースクリーンの水平長とし、勾配は $1/30 \sim 1/20$ とする。

② 計画取水量 $Q \text{ (m}^3/\text{s)}$ 、バースクリーン単位幅当り取水量 $q \text{ (m}^3/\text{s/m)}$ から、集水路の長さを $Q/q = n$

図-23 バースクリーン方式溪流取水工集水路断面及水位上昇

等分し、分点を集水路上流端から、 $0, 1, 2, \dots, n$ とすると、 $1, 2, 3, \dots, n$ 断面を流下する流量はそれぞれ $q, 2q, 3q, \dots, nq = Q$ となる。

- ③ 各断面ごとに、断面を流下する流量に対する等流水深と流速水頭を算定する。
- ④ 各断面の水深は、等流水深に流速水頭の60%を加えたものとし、各断面の水位を連ねて、集水路の仮想通水面曲線を作成する。
- ⑤ 仮想通水面曲線が水平に近いときは、その通水面曲線に応じて、集水路下流側側壁の天端が水平になるように集水路各断面の深さを決める。
- ⑥ 仮想通水面曲線が追加距離と共に上昇する場合には、仮想水面曲線が水平に近づくように水路勾配を調整する、水路勾配が $1/10$ 程度のときは計画取水量を支障なく流下し得る集水路を設定することができる。
- ⑦ 地形上、集水路の勾配が $1/40$ 前後になり、通水断面が不足する場合には、水路断面を集水路上流側に拡大して複断面とし、不足断面を補足して（図-23）、上記の要領で集水路断面を決定する。

図-24は、台湾、南投水利会で、施工中の、関刀溪バースクリーン複合型溪流取水工のバースクリーン取り付け構造、ならびに1単位幅当りのバースクリーン構造諸元を示したものである。段落斜面高さ $W=1.30\text{m}$ 、バー取り付け角度 $\theta=45^\circ$ 、バーは $\phi=90\text{mm}$ 、実効長 $L_0=1.604\text{m}$ の鋼管を用い、バースクリーン隙間幅 $a=20\text{mm}$ 、開度 $\Psi=22\%$ で、単位幅当り計画取水量は $0.20\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ である。

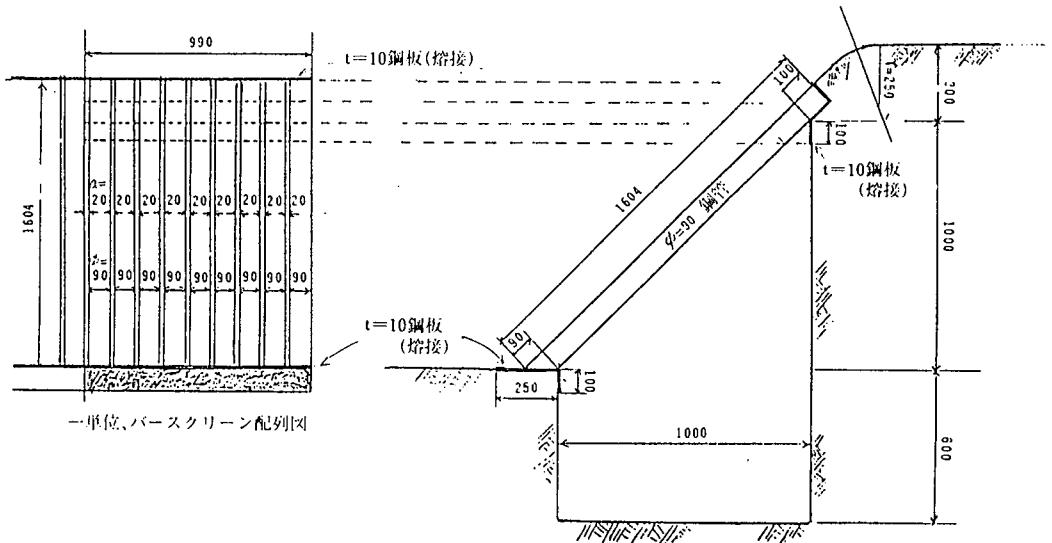


図-24 台湾関刀溪バースクリーン複合型溪流取水工バースクリーン取付部構造図

水平底床及びデフレクターを設けた、同型の溪流取水工は、水資源開発公団三重用水建設所、溪流三滝川において計画最大取水量 $3.7 \text{ m}^3/\text{s}$ を取水するための溪流取水工として設計されている。また、台湾水利局水工試験室では、取入れ口前面の堆砂礫、堰体の摩耗、損壊で取水障害を起し、維持管理に困っている、台東、卑南溪、卑南上圳溪流取水工の改善のために、計画取水量 $7.2 \text{ m}^3/\text{s}$ を取水するためのバースクリーン複合型溪流取水工の水理模型実験を行い、実施計画に移している。

3.2.5 チッソ方式溪流取水工

発電水力にとっては、たとえ僅かな水量であっても、常時出力の増強になる溪流取水は有効な方策である。

チッソ(株)では、高落差発電所の貯水池の自己流域が小さいために、隣接流域溪流河川の流域変更によって出力の増強を図り、途中の溪流はすべて取り込むように計画された発電所が何箇所もある。そのために、溪流取水工は非常に多く、それらの建設費及び維持管理費と経済性ならびに保安上の安全性などの困難な問題を解決する方法として、従来の取水工のほかに次のようなユニークな溪流取水工が開発されている。

(1) 固定堰越流水側方取水型溪流取水工⁽¹⁵⁾

図-25は、昭和32年(1957)頃、流域面積 3.4 km^2 、計画最大取水量 $0.18 \text{ m}^3/\text{s}$ を取水するために建設された、固定堰(堰堤)越流水側方取水型溪流取水工の概要図である。

平水時には、㊷固定堰頂を越流する流水は、㊸エンドシル(デフレクター)によって阻止され、横方向に勾配をつけた㊹水叩き(水クッション底床面)を固定堰に沿って流れ、落葉などの浮遊流下物は㊺除塵スクリーンにかかり、流下水のみが導水路に流入するような構造になっている。

溪流河川流量が増大するにつれて、固定堰頂越流水の一部はエンドシル(水クッションデフレクター)を溢流するようになる。さらに、流量が増えてくると、水叩き(水クッション)内の流れはエンドシルを跳び越える射流となるために、取水はほとんど不可能になるが、流下土砂礫、浮遊流下物はエンドシル下流側に掃流々下されるので、㊻排砂路(沈砂路)に堆積する土砂礫、除塵スクリーンにかかる枝葉等は僅少になる。このような水理特性は、取水工の維持管理を容易にするものであるが、洪水時には取水機能が低下するのが問題である。

この型式の溪流取水工の最大取水量は、固定堰越流頂の長さ $7 \sim 8 \text{ m}$ で、 $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 前後である。

この型式の取水工には、固定堰頂越流部にバースクリーン(水平スクリーンまたは傾斜スクリーン)を取り付けて取水量の増加を図った、複合型溪流取水工も設置されている。

この型式の溪流取水工は、越流斜面にバースクリーンを取り付けると、バースクリーン複合型溪流取水工の機能を兼備した溪流取水工とすることができ、平水時のみならず、高水時にも

連続した取水が可能になる。

(2) 固定堰越流水俯角面付着取水型溪流取水工

図-26は、昭和38年(1963)以来、数箇所の溪流取水工として稼働している固定堰越流水俯角面付着取水型溪流取水工の断面概要図である。流下水は、円弧状の固定堰上流側 $4^{\circ}\sim 8^{\circ}$ の逆勾配斜面で様な流速になり、堰頂を越流後、付着力によって、 $10^{\circ}\sim 17^{\circ}$ の俯角面に沿って集水路に落下する水利構造になっている。

流下砂礫、浮遊流下物は慣性力や遠心力によって集水溝の前方に落下するので、砂礫や、落

葉等の大部分は分離除去されるが、5mm以下の砂粒子や、軽い枯葉の一部は付着水と共に集水溝に流入することがある。

取水堰越流部の半径100mm、俯角斜面高さ250mmの場合、最大取水量は、単位幅当り溪流河川流量 $10\ell/s/m$ のとき、約 $7\ell/s/m$ で取水可能量は非常に小さい。

高水時、越流量が多くなると、ナップが堰頂部で俯角面を離れるので、取水はほとんど不可能になる。補助取水施設として、取水堰上流側に、直径200mm程度の集水管を埋設しているものもある。

この型式の溪流取水工は、砂礫や、浮遊流下物の流入が少なく、維持管理のための労力をほとんど必要としないので、出水時の取水を放棄しても維持管理上の利点を選択する、発電水力用の小規模溪流取水工として施工されている

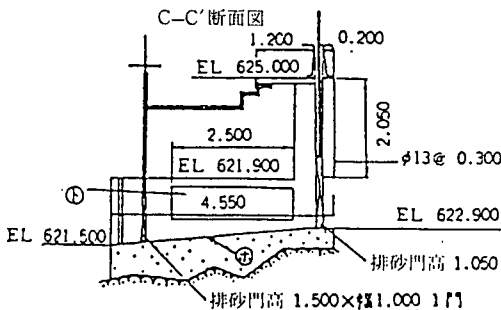
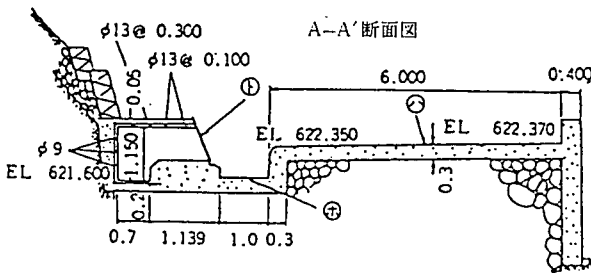
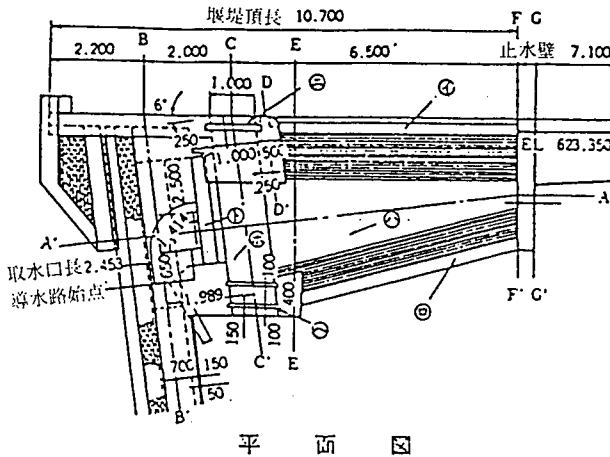


図-25 チッソ方式 固定堰越流水側方取水型溪流取水工

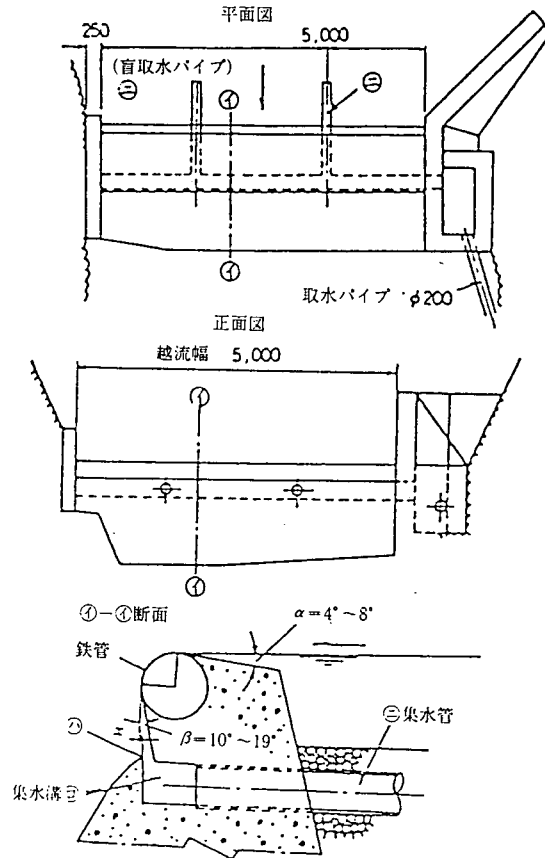


図-26 チッソ方式 固定堰越流水俯角面取水型溪流取水工

4 溪流取水工群と貯水池とからなる利水システム

河川本流を堰堤で締め切って貯水池を建設することは、貯水池が集水と取水機能及び貯水機能とを併せ持つことになるので、そのこと自体は利水上有効な方法である。しかし、河川本流を堰堤で締め切って貯水池を設ける取水方式によるときは、河川水のみならず、自己流域から流入して来る。土砂・石礫、流木等あらゆる流下物を溜め込むために、貯水池の堆砂、埋没、水質の汚濁等、種々の不都合な問題が起こっている。

したがって、流域が広くて洪水量が大きく、流量変化が急激で、多量の土砂、石礫が流下する、溪流河川に貯水池を建設して取水することは必ずしも有利な利水方法ではない。

これに対して、溪流河川地形や地質、周辺の状況によっては、集水と取水機能及び貯水機能とを分離して持つ、溪流取水工（群）と貯水池とからなる利水システムが有利になる場合が多い。

溪流河川からの取水に当たっては、河川地形、流況、取水目的、取水量に応じて、所定の水量が安定して、計画的に取水し得る方式と溪流取水工の型式を決める必要がある。

溪流取水工群と貯水池とからなる利水システムは、取水目的によって、次の3つのタイプに分類することができる。

- ① 溪流取水工群と全取水量貯留型貯水池とからなる利水システム
- ② 溪流取水工群と補給水貯留型貯水池とからなる利水システム
- ③ 取水分離溪流取水工群と貯水池とからなる利水システム

これらの利水システムの特性と、事例を述べると以下ようになる。

4.1 溪流取水工群と全取水量貯留型貯水池とからなる利水システム

この利水システムは、貯水池の自己流域外の溪流河川に設置した、溪流取水工（群）による取水をすべて導水して貯水し利水するものである。この利水システムは、河川本流を堰堤で締め切る貯水方式、あるいは、これに、自己流域外の溪流から、流域変更によって導水して貯水量の増強を図る場合には期待できない、次のような利点を有する。

- ① 溪流取水工の型式、水理特性によって、取水工地点を流下する河川流量の全量取水を避け、溪流河川環境を保全することができる。
- ② 貯水池へ土砂礫・流木等が流入するのを防ぐことができる。このことは、土砂礫の堆積を防ぎ、貯水池の耐用年数を延長することになる。
- ③ 平水時のみならず、高水時においても、貯水池への導水を選択取水することができる。したがって、水源溪流河川の選択により、また、洪水時の濁水の取水を停止することによって、良質な河川水のみを取水することができる。
- ④ 貯水池建設地点の選択幅を広げることができる。したがって、単独の貯水池の場合には、所期の集水が不可能な小溪流であっても、地形、地質的に適切な地点であれば貯水池の建設が可能になり、水没補償などの社会的条件の困難な地点を避けることができる。
- ⑤ 自己流域外の溪流河川からの取水を導水することによって、貯水池の効率を高めることができる。
- ⑥ 貯水池の効率を高めることによって、貯水池の規模を縮小することができる。しかし、反面では、次のような欠点もある。
 - ① 一般に、取水工地点を流下する河川水の一部しか取水し得ないことが多い。
 - ② 溪流取水工、沈砂池、導水路等の建設を伴うために、そのための工事費を必要とする。
 - ③ 河川本流を堰堤で締め切る貯水池に比べて、繁雑なシステムになるので、維持管理が複雑になる。

したがって、この利水システムにおける溪流取水工は、溪流河川地形、流況、取水目的、取水量に適合して、維持管理が容易で、安定した計画取水ができる水理特性を有する型式のものであることが要求される。

4.1.1 溪流取水工と貯水池とからなる利水システムの成立

溪流取水工と貯水池とからなる利水システムは、わが国では、

- ① 天竜川支流、振草川振草頭首工での取水を導水する、豊川用水宇蓮ダム。
- ② 手取川支流、杖川溪流取水工（チロルタイプ）での取水を導水する、大日川ダム。
- ③ 東河内谷川溪流取水工（取水堰方式）からの取水を導水する、中部電力井川畑第二ダム。

などのように、河川本流に建設した貯水池の増強を図るための流域変更として、早くから成立している。

しかし、溪流河川本流外に建設した貯水池に、河川本流及び隣接溪流河川に設置した溪流取水工からの取水を導水する、溪流取水工と貯水池とからなる利水システムの成立には、河川地形、地質と社会的条件等から、河川本流を締め切って貯水池を建設することが不可能であったことによるものと、積極的にこの利水システムを採用したことによるものがある。

これまでわが国に成立している、発電水力、農業用水、上水道、工業用水のための、溪流取水工群と貯水池（調整池）とからなる利水システムのほとんどは、積極的にこのシステムを採用したものである。

台湾では、平均年降水量は多く、 $2400\text{mm}/\text{年}$ であるが、雨季と乾季が明確に分かれていて、台風時には、1日で 1000mm 以上の豪雨に見舞われることがしばしばで、一般に溪流河川は河状係数が大きく（数百以上）、多量の土砂・石礫が流下するために、河川本流に建設した貯水池の堆砂、埋没は著しい。また、多くの溪流河川では、河川地形、地質、流況によって、河川本流を締め切って貯水池を建設する適地が得られにくい。このために、この利水システムを採用して、貯水池の堆砂を防止しながら、平水時は勿論、高水時の取水を貯留することにより大きな効果を挙げている事例が多い。

- ① 嘉南農田水利会、烏山頭水庫（貯水池）は、台湾西南部、嘉義、台南両県に跨る、嘉南平野、灌漑面積 $81,000\text{ha}$ の用水源として、1928年、八田与一技師によって完成されたフィルダムである。当時の技術では、曾文溪本流に貯水池を建設できる状況ではなかったために、曾文溪の支流である現地点に、集水面積 58km^2 、貯水容量 $150,000\text{千m}^3$ の烏山頭水庫を建設し、流域面積 500km^2 の曾文溪本流に設けた進水口（取水口）から最大 $85.4\text{m}^3/\text{s}$ を取水して導水、貯留することによって、年間利用水量は $1,570,000\text{千m}^3$ となっており、年間を通じて水需要に整合した水供給が行われている。
- ② 台湾西部中央、嘉義市東方約 10km 、八掌溪上流、旧河川敷跡部に建設された、集水面積 3.66km^2 、貯水容量 $28,800\text{千m}^3$ の仁義潭水庫は、隣接する流域面積約 150km^2 、最大洪水量 $12,500\text{m}^3/\text{s}$ 、河状係数500以上の八掌溪に仁義潭進水口（取水口）を設け、最大 $25\text{m}^3/\text{s}$ の取水を導水、貯留し、嘉義地区の公共用水及び工業用水を年間 $42,820\text{千m}^3$ 供給している。
- ③ 台中市から約 30km 北方、大安溪の支流、景山溪上流、上水、工業用水、農業用水の水源

として建設されている鯉魚潭水庫は、流域面積758km²、最大計画洪水量20,656 m³/s、河状係数690、流下土砂・石礫量69万 m³/年の大安溪本流よりも、その支流景山溪に貯水池建設最適地が得られたために、その地点に堰堤を築造している。自己流域53.45km²からの集水は勿論、大安溪本流に設置する溪流取水工から、最大35 m³/s を取水して導水貯留し、貯水容量126,000千 m³に対して、年間利用水量は280,000千 m³としている。

- ④ 台湾西北部に建設、稼働している、宝山水庫は、頭前溪支流紫梳溪上流、新竹市地区東方約16kmの位置にある。自己流域は僅か3.2km²であるが、頭前溪本流から最大取水量2.4 m³/sをはば安定して導水、貯水することによって、工業用水、上水、農業用水の年間利用水量は、貯水容量5,350千 m³の3倍以上、16,600千 m³に達している。

宝山水庫の場合は、溪流取水工と貯水池とからなる利水システムを積極的に取り入れたものといえることができる。

- ⑤ 台湾南西部、曾文溪支流、後堀溪関山村に建設中の南化水庫は、集水面積104km²、有効貯水量150,430千 m³であるが、高屏溪支流旗山溪民族村、集水面積410km²の地点に溪流取水工を設け、洪水時の豊水30 m³/s を取水して、2,300mの隧道で導水し、西暦2000年には、水不足の厳しい、台南、高雄地区に、年間280,000千 m³を供給することを目指している。

現在、台湾における、溪流取水工（欄河堰、進水口）と貯水池（水庫）とからなる利水システムの事例を示すと表-2 のようになる。⁽¹⁸⁾

表-2 台湾における溪流取水工と貯水池とからなる利水システム一覧

溪 流 河 川	欄河堰進水口 最大取水量 (m ³ /s)	水 庫 貯水容量(千 m ³)	年利用水量 (千 m ³)
會 文 溪	烏山頭進水口 $Q_{max} = 85.4$	烏山頭水庫 150,000	1,570,000
頭 前 溪	上坪欄河堰 $Q_{max} = 2.4$	宝山文庫 5,350	16,660
南 庄 溪	田美欄河堰進水口 $Q = 6.5$	永和山文庫 29,580	68,260
八 掌 溪	仁義潭進水口 $Q_{max} = 25.0$	仁義潭水庫 28,800	42,820
大 安 溪	鯉魚潭進水口 $Q_{max} = 35.0$ (建設中)	鯉魚潭水庫 126,000 (建設中)	280,000
東 港 溪	東港欄河堰(抽水站) $Q_{max} = 5.0$	鳳山水庫 9,200	44,000
旗 山 溪	南化水庫進水口 $Q_{max} = 30.0$ (建設中)	南化水庫 150,430 (建設中)	280,00
基 隆 河	基隆河抽水站 $Q_{max} = 4.2$	新山水庫 4,000	68,000

これらの多くは、溪流河川本流からの取水量が大きく、いずれも単一の溪流取水工と貯水池とからなる利水システムを形成していて、年間利用水量は貯水容量を大きく上廻り、10倍以上になるものもある。

4.1.2 わが国における溪流取水工群と全取水量貯留型貯水池とからなる利水システム

(1) 水資源開発公団三重用水事業利水システム

本事業は、三重県北勢地域、鈴鹿山麓より伊勢湾に至る地区の農業用水、上水道用水、工業用水を供給するための水資源開発事業である。本事業の利水システムは、図-27に示すように、木曾川水系揖斐川の支流牧田川ほか鈴鹿山系北勢部の15溪流河川から取水し、自己流域4km²、総貯水容量16,400千m³の中里貯水池と4箇所の調整池に導水・貯留して、年間利用水量56,000千m³とし、その93%は溪流河川からの取水に依存する溪流取水工群と全水量貯留型貯水池とからなる利水システムを形成している。

この利水システムには次のような特徴がある。

- ① 貯水池の自己流域は非常に小さいが、溪流取水工群による取水を、多くの流域変更によって導水し、貯留することによって成立っている。
- ② 大部分の溪流取水工は、流域面積が小さいために溪流河川の流出量は少なく、河状係数は3000~5000あるいはそれ以上に大きく、きわめて尖鋭なハイドログラフを示していて、取水可能量はきわめて小さい。
- ③ 取水溪流河川には、既得水利権を保証するために、すべて取水制限流量が設定されている。
- ④ 少ない開発流量を有効に利用するために、地区内に4箇所の調整池を設けて利水の高度化を図っている。

しかし、ほとんどの取水地点における、溪流河川の平均河床勾配は1/15~1/40、山地の傾斜は15°~45°と急峻である。したがって、流量変化が急激で、土砂・石礫の流下が多く、河床変動が激しいために、取水工は、溪流取水工として具備すべき要件のほとんどが課せられる、苛酷な状況下に置かれている。

取水溪流河川の流量と取水制限流量（＝下流既得水利権者必要水量＋河川維持流量）及び取水量との関係を例示すると図-28のようになる。

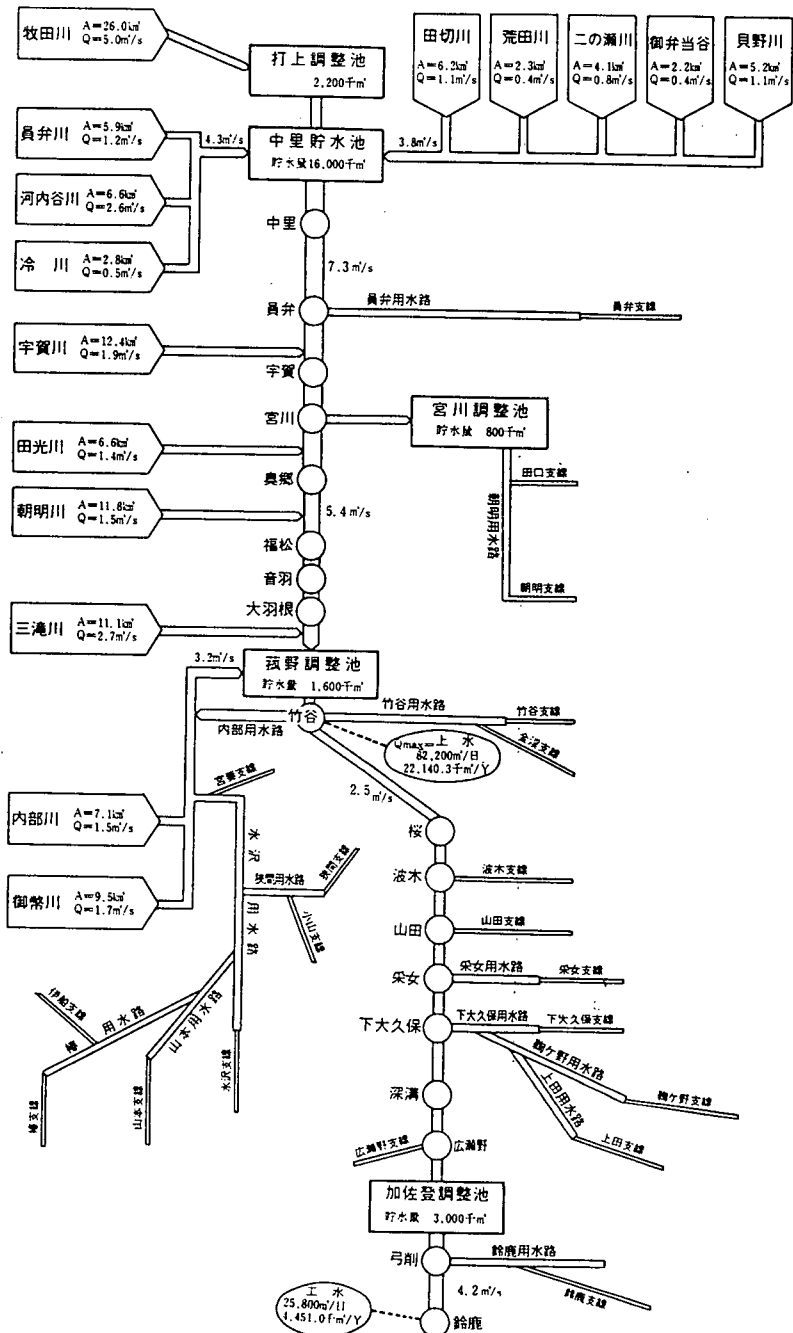


図-27 水資源開発公団三重水利水システム

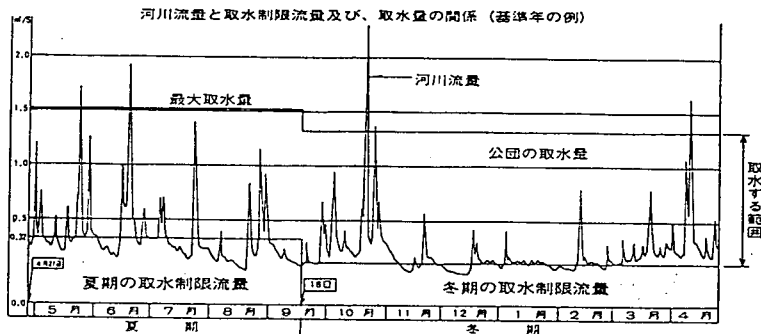


図-28 取水制限流量説明図

三重用水事業では、このような苛酷な条件の下で、設定した計画取水量を安定取水するために、既設溪流取水工の実態調査、水理模型実験、ならびに現地実物大模型実験等によって溪流河川地形、取水量に応じた溪流取水工の型式を決定している。現在稼働ならびに設計中の溪流取水工は次のとおりである。

- ① 牧田川は、木曾川水系揖斐川支流の一級河川で、構造令の適用を受ける溪流河川であるが、取水工地点付近の平均河床勾配は $1/50$ で、河川幅が狭小であるために、洪水時、可動堰を巻き上げる際、下流側の急激な増水による危険の発生をを検討して、取水工は、取水堰方式固定堰型溪流取水工を採用している。
- ② 御幣川は、安定した滝壺を有効に利用して、自然取水方式溪流取水工を採用している。
- ③ 員弁川、内部川は、 $\phi=114.3\text{mm}$ の鋼管を用いた。バースクリーンの取り付け角度 30° 、バースクリーン隙間幅 20mm のバースクリーン下方取水型溪流取水工を設置しているが、洪水時、枝葉等の浮遊流下物による目詰まりが起り易く、取水不可能になることがある。
- ④ 河内谷川は、図-18に示すように、段落斜面高さ 2.60m 、外径 114.3mm 、長さ 2.42m の鋼管を用いたバースクリーン取り付け角度 57° 、バースクリーン隙間幅 20mm のバースクリーン後方取水型溪流取水工を設置している。石礫、浮遊流下物による取水障害は発生しにくく、平水時は勿論、高水時においても安定した計画取水が確認されている。
- ⑤ 冷川は、河内谷川と同諸元のバースクリーンの、バースクリーン後方取水型溪流取水工を設置しているが、計画最大取水量に対して、バースクリーンの設置幅が過大であるために、低水時、全量取水状態になると、水クッション内に砂礫が堆積することがあるが、取水上特に支障を来すようなことはない。
- ⑥ 三滝川、田光川は、河川地形、流況、取水量に適するものとして、バースクリーン複合型溪流取水工の設計が進められている。

中里貯水池は、平成元年（1989）8月から、員弁川溪流取水工（最大取水量 $1.2\text{ m}^3/\text{s}$ ）、河内谷川溪流取水工（最大取水量 $2.6\text{ m}^3/\text{s}$ ）、冷川溪流取水工（最大取水量 $0.5\text{ m}^3/\text{s}$ ）による取水を導水して、試験湛水を行い、12月中旬には満水にすることができた。この間、員弁川バースクリーン下方取水型溪流取水工（チロルタイプ）は、洪水時、枝葉、石礫によって目詰まりを起こし、取水不能に陥ったこともあるが、河内谷川バースクリーン後方取水型溪流取水工は、平水時は勿論、洪水時においても支障はなく、安定した計画取水がなされていた。

(2) 道前道後平野農業水利事業面河ダム⁽²⁰⁾

道前道後平野の灌漑用水の補給、導水途中の落差を利用した水力発電、及び松山市、松前町の工業地帯に対する工業用水確保のために昭和39年（1964）、仁淀川水系面河川支流、割石川上流部に建設された、面河ダムは、自己流域 16.82 km^2 、有効貯水量 2680 万 m^3 であるが、面河川支流、面河溪、鉄砲石川、坂瀬川、妙谷川に設けた大小11溪流取水工群とからなる利水システムを形成し、集水面積は、 76.13 km^2 に拡張されて、年使用水量 3215 万 m^3 と貯水池の効率は高くなっている。面河ダムの土砂礫堆積率は、現在のところ、ほとんど問題にされていない。しかし、溪流取水工は溪流河川地形に必ずしも適合していない状況で、維持管理には、常時専従職員を配置して、相当の労力と費用を要している。

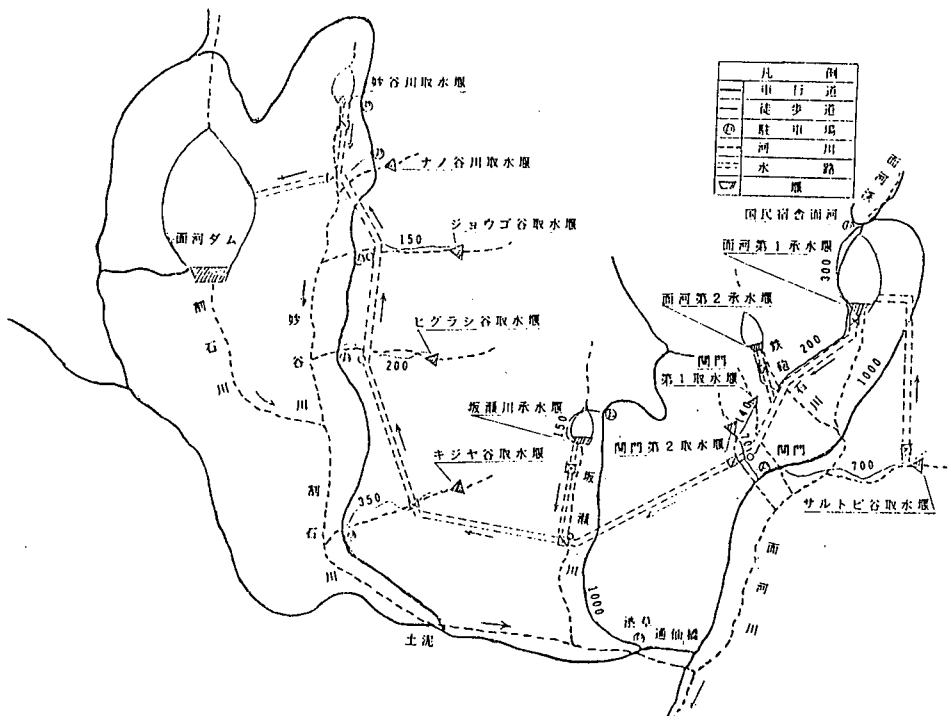


図-29 面河ダム溪流取水工群

(3) チッソ内谷第一発電所利水システム⁽²¹⁾

熊本県水俣市に化学工場を持つチッソ(株)は、県下及び隣県に13箇所の流れ込み式水力発電所を有し、合計最大発生電力89,430kWである。

このうち、大正から昭和の所期に建設された8箇所の発電所は、流域面積の広い低落差発電水力が主で、流域面積の狭い溪流からはほとんど取水していない。昭和10年過ぎに建設された2箇所の発電所は、5箇所の溪流取水工から取水導水している。昭和25年に完成した、内谷第一、第二発電所は、40箇所の溪流取水工から取水している。昭和39年に竣工した、目丸発電所は、本・支流及び溪流合わせて、4箇所の取水工から取水している

内谷発電所は球磨河の上流、川辺川の支流、小川の最上流部山口地点に、流域面積8.9km²、貯水量若干の山口貯水池を築造し、球磨川の最下流部の支流深水川の上流5km、球磨川河口より10km上流の地点に、落差200mを有する内谷第二発電所を建設した、貯水池水路式発電所である。最大使用水量5.50m³/s、最大発電出力は内谷第一：16,500kw、内谷第二：8,200kwである。

使用水量の大半は、山口貯水池を起点として、コンターに沿って導水路を延長し、自己流域36箇所、揚水流域4箇所の溪流取水工からの取水を導水するもので、溪流取水工群と貯水池とからなる利水システムを形成している。

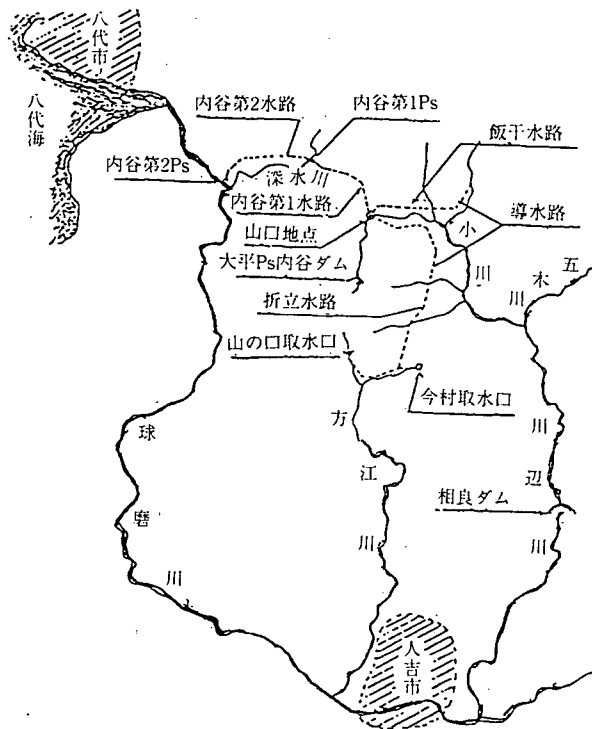


図-30 内谷発電所、山口ダム溪流取水工群集水路延長図

内谷第一発電所の利水システムは、溪流取水工が多いことは勿論、導水路も長く、大小合わせて35kmに及んでいるので、地理的、地形的、経済的に維持管理が容易でないことから、溪流取水工の設計に当たっては、設計者各自の思考を凝らした結果として、次のような6種類の型式の溪流取水工が設置されている。

① 取水堰型溪流取水工

河川中・下流部に設けられる取水堰堤（頭首工）と同型のもので、流域面積が比較的大きい9箇所の溪流に設置されている。

② 盲取水工（集水槽方式溪流取水工）

横または縦方向にスクリーンを設置し、その上に栗石あるいは石礫を敷いて、礫間透過水を取水するもので、砂濾過層のように目詰まりが起こり、短時間で取水不能となることはないが、枯れ葉、シルト、砂が礫間に詰まってくると、経年的に取水機能が低下し、豊水期に取水が低下しているところが多い。

③ 水平または傾斜スクリーン方式取水工

集水溝の上部に、水平または傾斜スクリーンを設置して流入水を集水・取水するもので、砂礫の少ない5溪流に設置されている。滝の落下部に傾斜スクリーンを取り付けたところもある。

④ 越流水側方取水型溪流取水工（今村式）

この型式の溪流取水工の水利特性は3.2.5(1)で述べたとおりである。内谷第一溪流取水工として4箇所、目丸発電所西内谷溪流取水工に同型のものが設置されている。

⑤ 越流水側方取水型溪流取水工（目丸式）

取水堰堤頂部に堰堤軸方向に集水溝を設け、その上にスクリーンを設置したもので、バースクリーン下方取水型溪流取水工と同様な水利特性を有する。3箇所の溪流に設置されている。

⑥ 越流水俯角面付着取水型溪流取水工（チッソ式）

3.2.5(2)で述べたような水利特性を有し、チッソ全発電所では、13溪流に設置されている。

以上のように、当時の設計者が、内谷第一発電所溪流取水工の維持管理に当たって、巡視が困難な地理的条件を重視した、多種多様の型式、構造の溪流取水工が設置されているが、全使用水力を溪流水に依存している当該発電所では、維持管理が容易で、より安定した取水が保証される溪流取水工への改善が望まれている。

(4) 尾上郷発電所溪流取水工群

尾上郷発電所溪流取水工群は、昭和46年（1971）、岐阜県白川村、電源開発株式会社御母衣地区、尾上郷川流域内10溪流に設置しているもので、最大取水量 $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$ である。この溪流取水工群からの取水は、尾上郷川の支流大黒川に築造した、高さ34m、堤長140m、総貯水量

1,070千 m^3 のロッフィルダム（大黒調整池）に導水され、尾上郷川下流端、御母衣貯水池流入口地点に建設されている。尾上郷発電所において、最大出力20,000kwを発生するための発電水力となっており、溪流取水工群と貯水池とからなる利水システムを形成している（図-31）。

この溪流取水工群の別山第一取水工はフローティングタイプの取水堰であるが、その他は、砂防堰堤方式に固定堰で溪流をせき止め、その一部にバースクリーンを設置して取水する、バースクリーン下方取水型溪流取水工（チロルタイプ）である（図-32）。この型式の溪流取水工には図-33に示すような集水槽土砂溜りがあるが、多量の土砂礫が流下する溪流河川である上に、バースクリーン隙間幅130mm程度、バー長さ4～6 m、バー取り付け角度 10° 前後であるために、集水槽は一洪水ごとに土砂礫で満杯になっている。集水槽の底部は水平になっているために、堆砂礫は、その都度、水槽前面の角落しを取り外し、人力または機械力で排砂している。バースクリーンから流入する土砂・石礫の大部分は、集水槽土砂溜りで処理されるので、各溪流取水工からの取水導水路、あるいは途中で設けられている沈砂池の堆砂量は少なく、排砂回数も非常に少ないようである。

各溪流取水工には、取水制御機構はなく、設計最大取水量まで取入れて、大黒谷調整池に導水し、取水工群の取水量は、一括して調整池の水位をマイクロウェーブによる遠隔監視装置によってチェックし、調整池の計画貯水量を越える場合には、調整池余水吐（無制限越流方式）によって放流されるようになっている。

この溪流取水工群の関係流域はほとんど国有林であり、流下水はすべて御母衣貯水池に流入するシステムになっているので、取水制限流量、補償等の問題について全く考える必要はない。

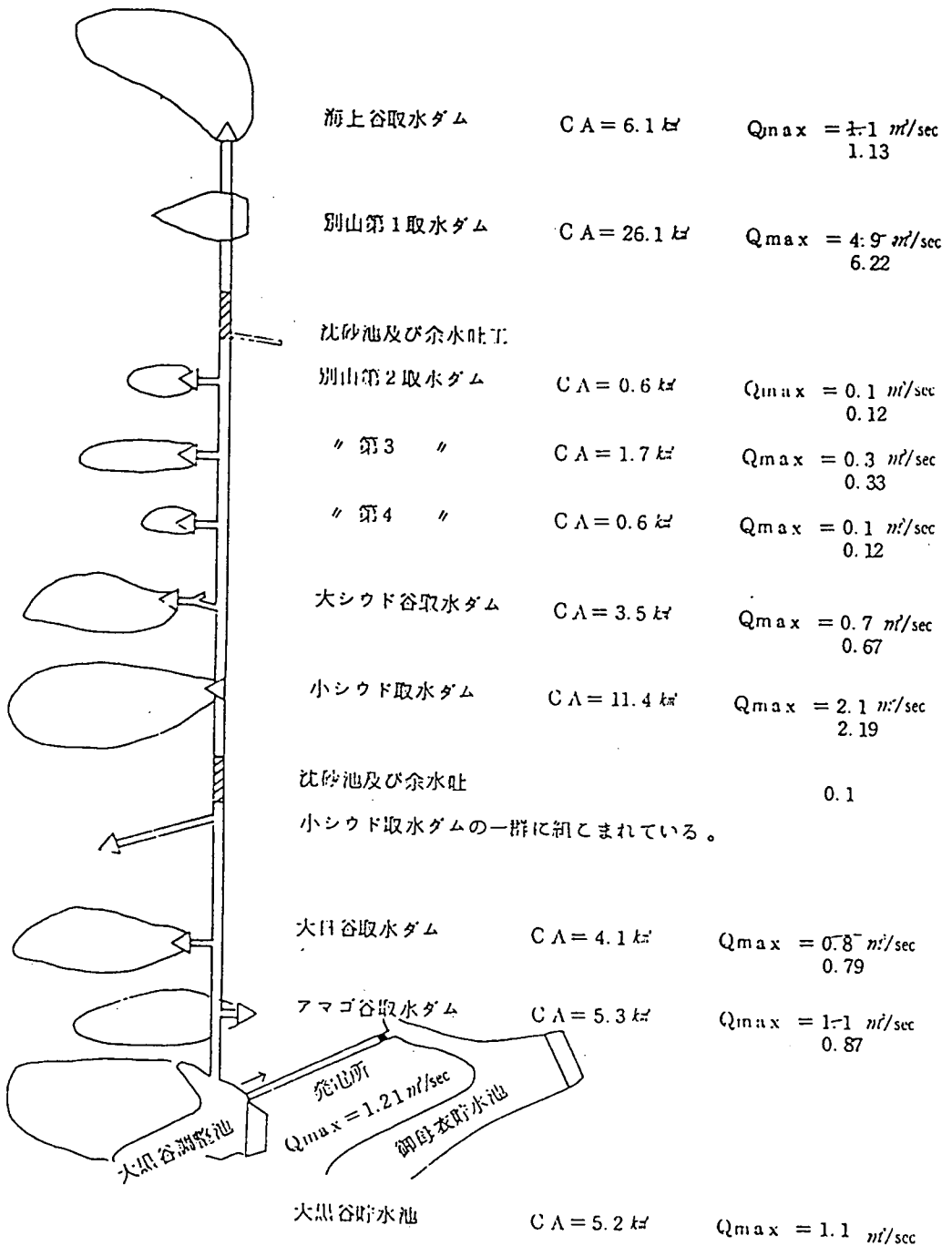


図-31 尾上郷発電水力利水システム模式図

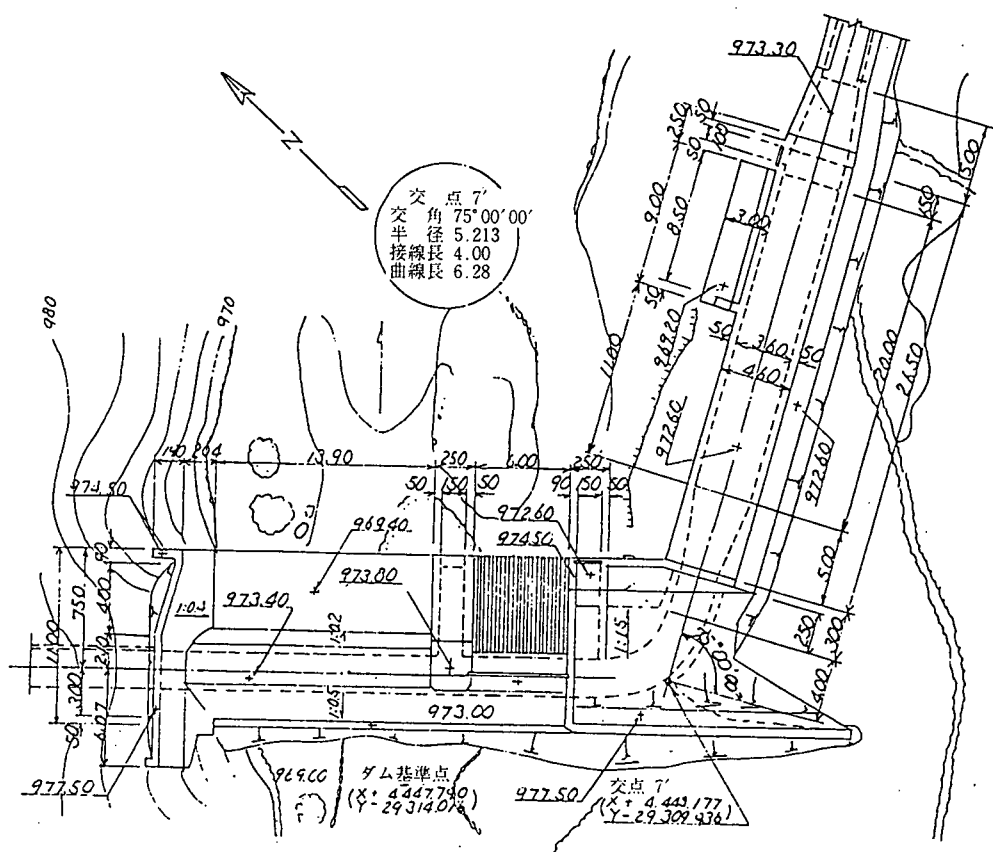


图-32 尾上鄉溪流取水工平面圖例

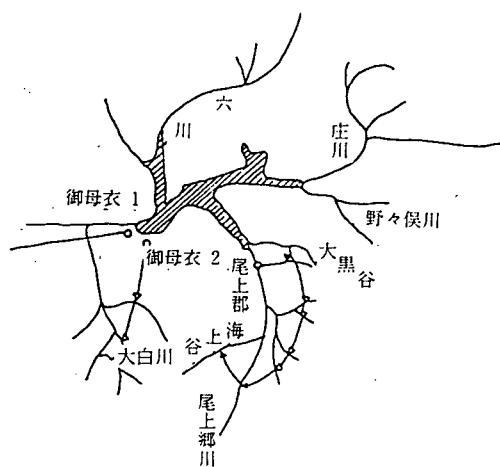
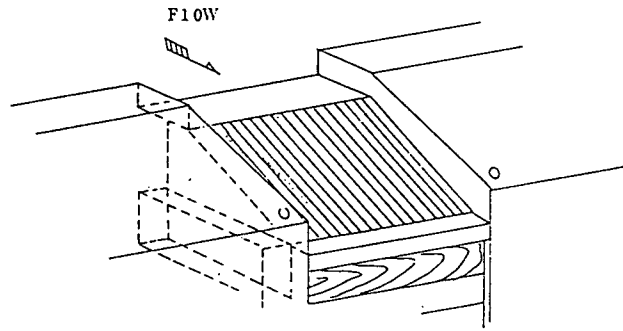


圖-33 (a)尾上鄉溪流取水工群位置圖, (b)集水槽構造圖



(b)

図-33 (a)尾上郷溪流取水工群位置図, (b)集水槽構造図

4.2 溪流取水工群と補給水貯留型貯水池とからなる利水システム

—— 長野県営夜間瀬地区灌漑排水事業 ——

長野県夜間瀬地区の農業用水は、信濃川水系中津川支流雑魚川に注ぐ、標高1,500m、奥志賀高原の我鬼沢、大沢、源助沢、黄蓮沢、柄沢、鋸沢、ほか数箇所の小溪流に設置した溪流取水工からの取水をパイプラインで導水し、総貯水容量36,000 m³の鋸沢貯水池に貯留しながら、トンネルで分水嶺を越え、受益地までの落差約1,000m、尾根筋や山腹を延長28kmのパイプラインで導水されている。受益面積は331ha、最大取水量0.4 m³/sで、用水の規模はきわめて小さい。

この地区の利水は、藩政時代以来、水利権の関係から、受益地に近接して流れている、夜間瀬川からの取水が出来ないために、今から100年以上前に、同じ地区に開削された土水路によって、各溪流からの水を集めて導水しながら、用水を確保して来たが、昭和61年(1986)より、土水路のパイプライン化及び鋸沢貯水池の建設、500~600mの落差を利用した小水力発電を含めた用水事業として再出発したもので、溪流取水工群と貯水池とからなる利水システムとなっている⁽²²⁾(図-34)。

各溪流取水工には、三重用水事業のものと同様、あるいはそれ以上に次のような厳しい条件が課せられている。

- ① 溪流取水工及び貯水池地点は冬季の積雪が3~4 mとなることがある。このために、溪流取水工は、積雪の重圧に耐えながら、安定した取水が可能なものでなくてはならない。また、積雪のために、交通はきわめて不便になるので、維持管理が容易なものでなくてはならない。
- ② 溪流取水工及び貯水池は上信越国立公園内にあると共に、各溪流は原生イワナの棲息地でもある。したがって、各溪流取水工は、自然との調和を保ち、周辺の環境を損ねないよ

うに、設計、施工に当たって、繊細な配慮が払われなければならない。また、溪流取水工は、イワナの棲息を保証する型式、構造でなくてはならない

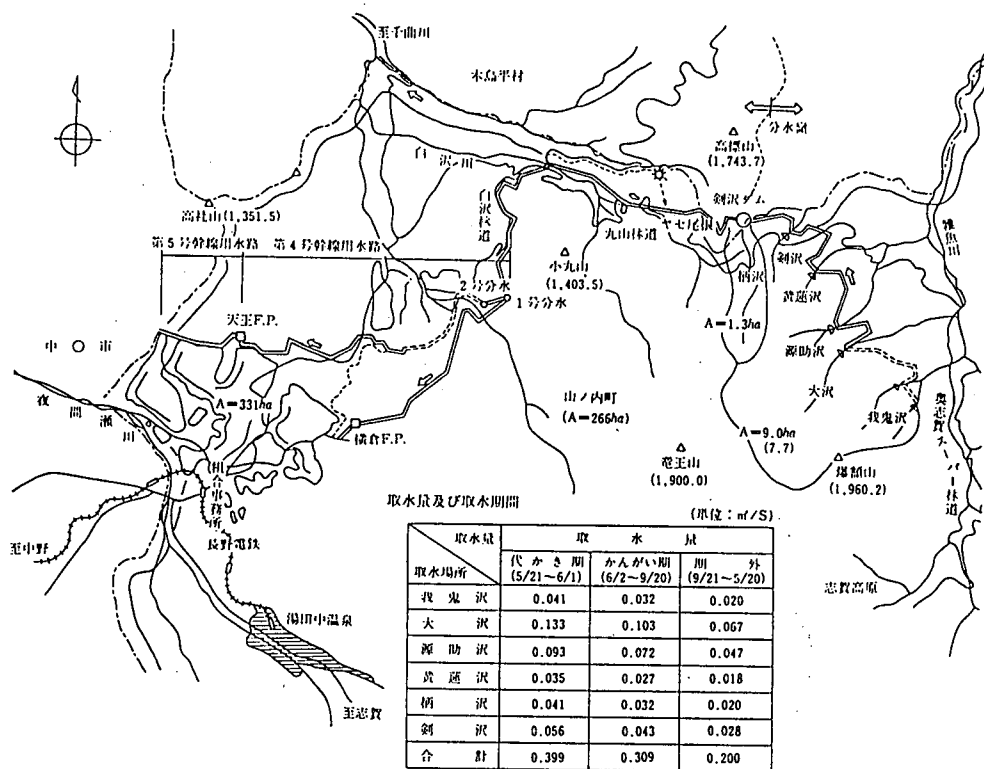


図-34 夜間瀬地区用水計画概要図

本用水事業における、剣沢貯水池は、冬季結氷して取水困難になり易い、高標高地点に築造されているために、各溪流取水工からの取水は、直接パンプラインに流入して受益地に送水され、余剰水は貯水池に貯留して、渇水時の補給水として利用するシステムになっている。この点は、三重用水事業のように、溪流取水工群による取水をすべて貯水池に貯留して使用する利水システムとは異なっている。

夜間瀬地区の用水計画の目標の一つは、清冷な用水を夜間リング園に灌水することによって、昼夜の温度較差を大きくして、高品質のリングを生産することにある。したがって、受益者は、確実に良質の用水が得られるように、当該溪流取水工群と貯水池とからなる利水システムに期待するところが大きい。

夜間瀬地区の利水システムの成否は、各溪流に設置される溪流取水工の機能にかかっているということができよう。

昭和61年(1986)9月2日から3日にかけて当地区を襲った台風15号は、志賀高原笠岳下、長野気象台山田牧場観測所の記録によると、累加雨量は232mm、時間最大雨量 39mm/hr (6時~

7時)という豪雨をもたらし、取水工、パイプライン、ならび施工中の鰐沢貯水池に大きな被害を及ぼした。中でも、昭和61年(1986)8月に完成した、鰐沢バースクリーン後方取水型溪流取水工を除いた、従来の方式による溪流取水工のほとんどは破壊、流失されて取水不可能になった。

図-35に示す、集水管方式の大沢溪流取水工は、昭和58年(1983)に施工され、昭和59年秋から取水を開始したものであるが、昭和60年の出水時に小規模の災害を受け、昭和61年には、集水部が完全に洗掘、流失されて、取水不能に陥った。

図-36に示す、集水管方式の源助沢2箇所溪流取水工は、大沢と同様昭和58年に施工され、昭和59年から取水開始したものである。腐植、落葉、土砂による目詰まりが頻繁に起こっていたが、損壊を受けたのは台風15号によるのが初めてであった。

これに対して、前述のように、鰐沢に設置した、バースクリーン後方取水型溪流取水工は、設置位置の河床が鞍状になっていて、土砂礫が堆積し易く、適切な地形ではなかったために、取水工一帯が土砂礫で埋没し、一時取水停止の状態になったが、取水工には被害はなく、堆積土砂礫除去後は正常な機能に復し、昭和62年春期水田代かき用水は専ら鰐沢溪流取水工からの取水によって供給された。

このようなことから、災害を受けた溪流取水工の復旧に当たっては、いずれも鰐沢取水工と同型のバースクリーン後方取水型溪流取水工とし、小溪流のものは、鋼鉄製の、同型、可搬組立式のものを設置している。

当地区に設置した、バースクリーン後方取水型溪流取水工は、段落斜面高さが小さく0.5~0.7mで、バースクリーン取り付け角度が60°と大きく、バースクリーン隙間幅は5mmであるために、水クッションが深く、全量取水の状態になると、落葉、腐植等の浮遊流下物によるバースクリーンの目詰まりが起こり易い。当該地区では、このような目詰まり防止対策について種々検討しているが、水クッション角落し堰に欠口を設けて、常時少量越流させると共に、角落し堰を低くして、水クッション内の水深を浅くし、段落斜面流水が、バースクリーン下端で、バースクリーン裏側に落下するようにすると有効である。

同型、可搬組立式のものは、バースクリーン取り付け角度を45°~50°に設定すると共に、溪流河川の地形、流況に応じて、取り付け角度を調整しながら据え付けることができる。

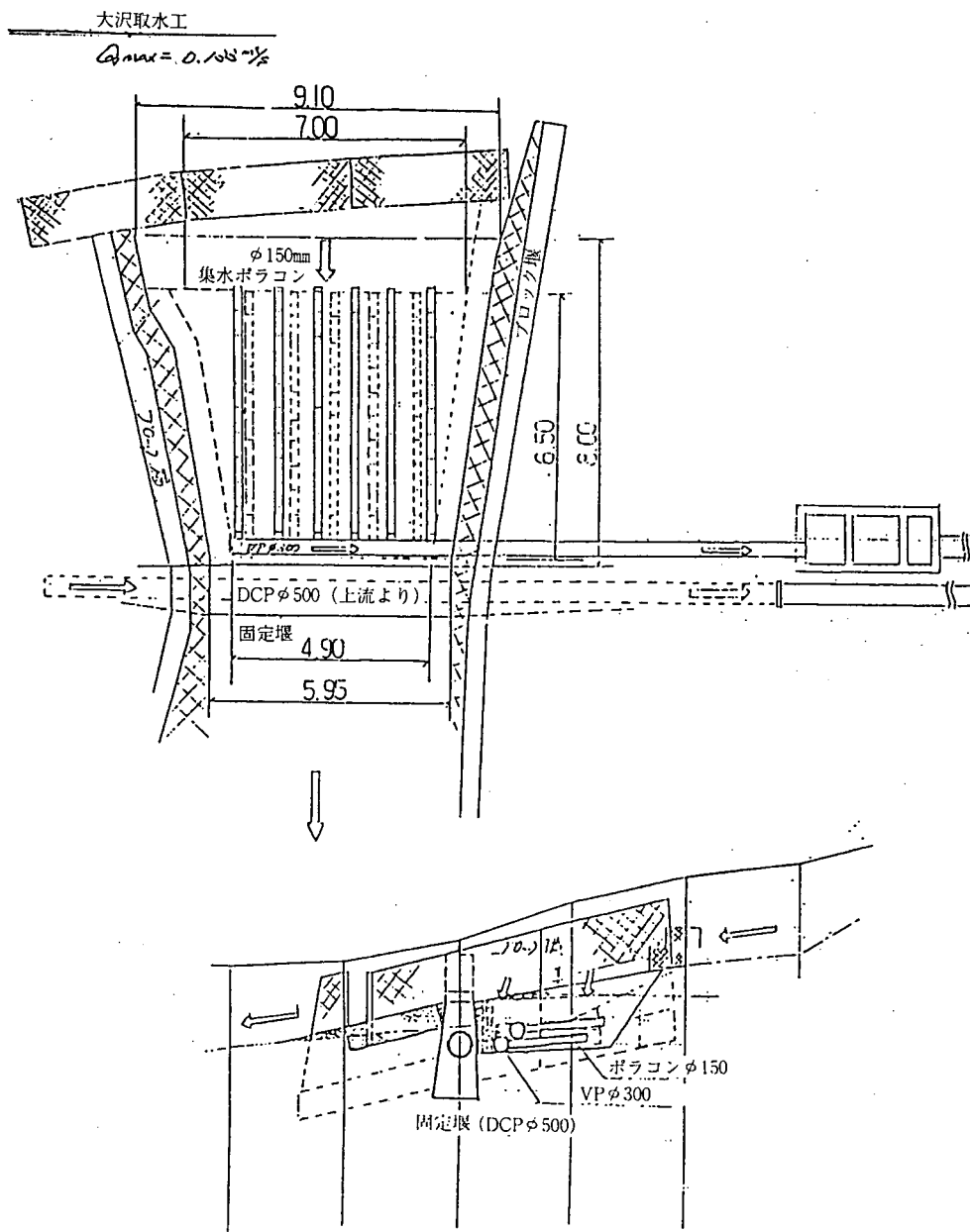


図-35 大沢集水管方式溪流取水工構造図

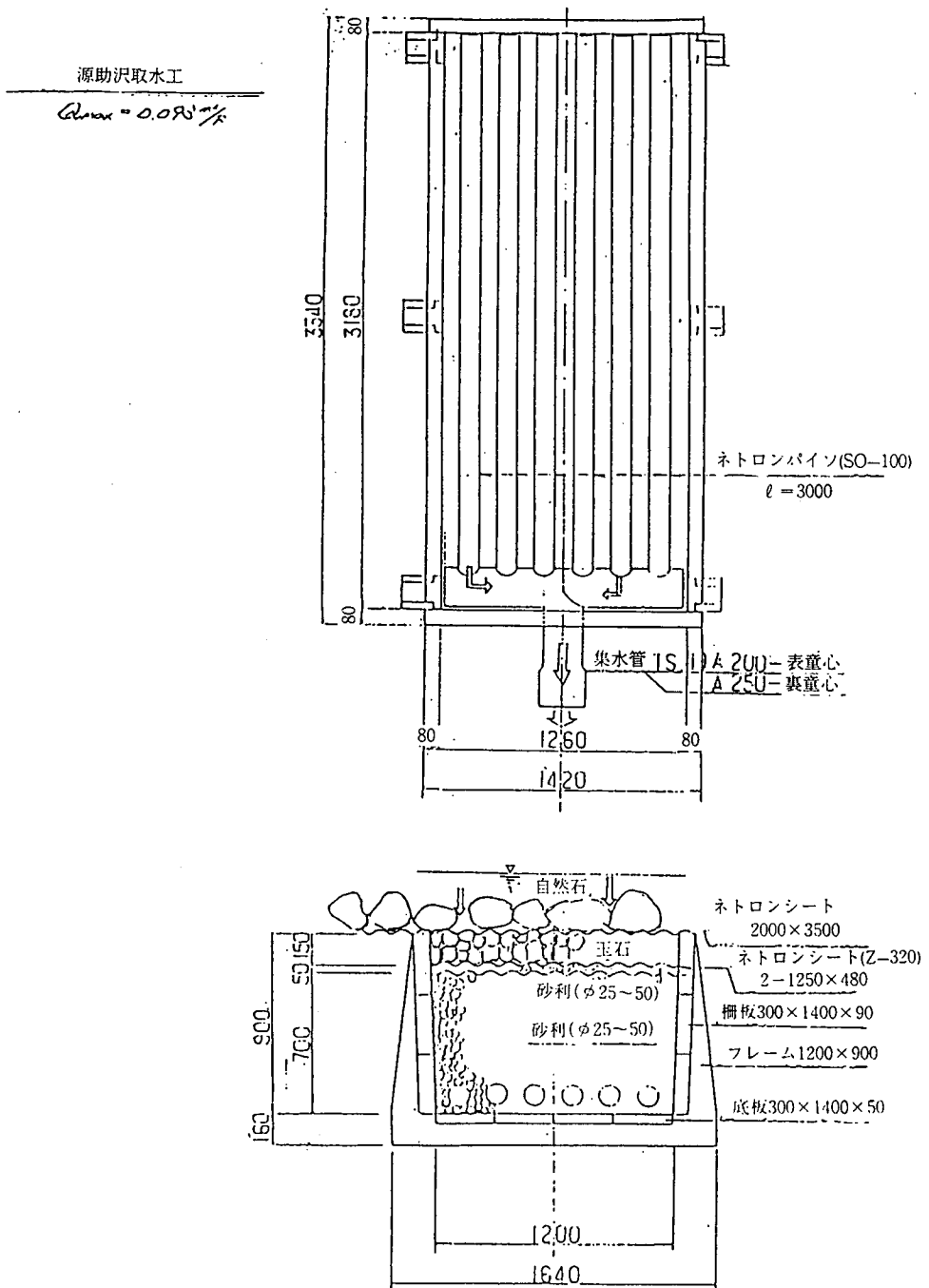


図-36 源助沢集水管方式溪流取水工構造図

4.3 取水分離溪流取水工群と貯水池とからなる利水システム

—奥美濃発電水力—

中部電力奥美濃発電水力は、岐阜県と福井県との県境を東西に走る、両白山地に源を発し、共に南に流れる、揖斐川の支流根尾東谷川最上流部に、流域面積12.0km²、総貯水容量14,500千m³、有効貯水容量9,000千m³の上大須貯水池（ゾーン型ロックフィルダム）を建設すると共に、長良川上流板取川支流西ヶ洞川の源流部に流域面積2.5km²、総貯水容量17,200千m³、有効貯水容量9,000千m³の川浦貯水池（ドーム型アーチ式コンクリートダム）を建設して、両貯水池を延長約2.5kmの導水路で結んで、落差が約500m、最大使用水量250.0m³/s、最大出力100万kwの純揚水式発電を行うために開発されているものである。

このプロジェクトの特徴は、上大須貯水池を下調整池、川浦貯水池を上調整池として、電力需要ピーク時には、上調整池に貯留した水力によってピーク電力を供給し、深夜の余剰電力によって、下調整池に貯留した発電放流水を上調整池に揚水し、次のピーク供給電力とするものである。したがって、流れ込み式発電用の貯水とは異なり、平水時には、両調整池を往復する水力用水として、一度貯留した有効貯水量を反復使用するので、蒸発、浸透による損失水量当を補給する以外には、余分の貯水を必要としない。しかし、ピーク発電時には、250.0m³/sの大流量が、上調整池から下調整池に流入し、揚水時には192.0m³/sもの水量が下調整池から上調整池に押し上げられるので、上下の調整池内は攪乱されて、貯留水は混濁状態になる。したがって、上大須貯水池（下調整池）の貯留水から責任放流量を流下させることは、古くから鮎漁が行われていて、清流を保っている根尾川の水質を汚濁することになり、望ましくない。

当プロジェクトでは、所期の電力を得ると共に、貯水池下流側の河川環境を保全するために、上大須貯水池左岸側に迂回水路を設け、貯水池に流入する4溪流に設置した溪流取水工によって、責任放流量0.7m³/sを分離取水し、貯水池下流側に清水を放流する措置が講じられている。

このような、溪流取水工群と貯水池とからなる利水システムは、過疎化の進む溪流河川上流、源流部に適地が得られるならば、有効な発電水力の開発が期待できると共に、発電水力放流、あるいは揚水によって貯水池が減水したとき、貯水池に流入堆積した土砂礫の排除が可能になるので、貯水池の堆砂、埋没を防ぎ、有効な利水が可能になる。

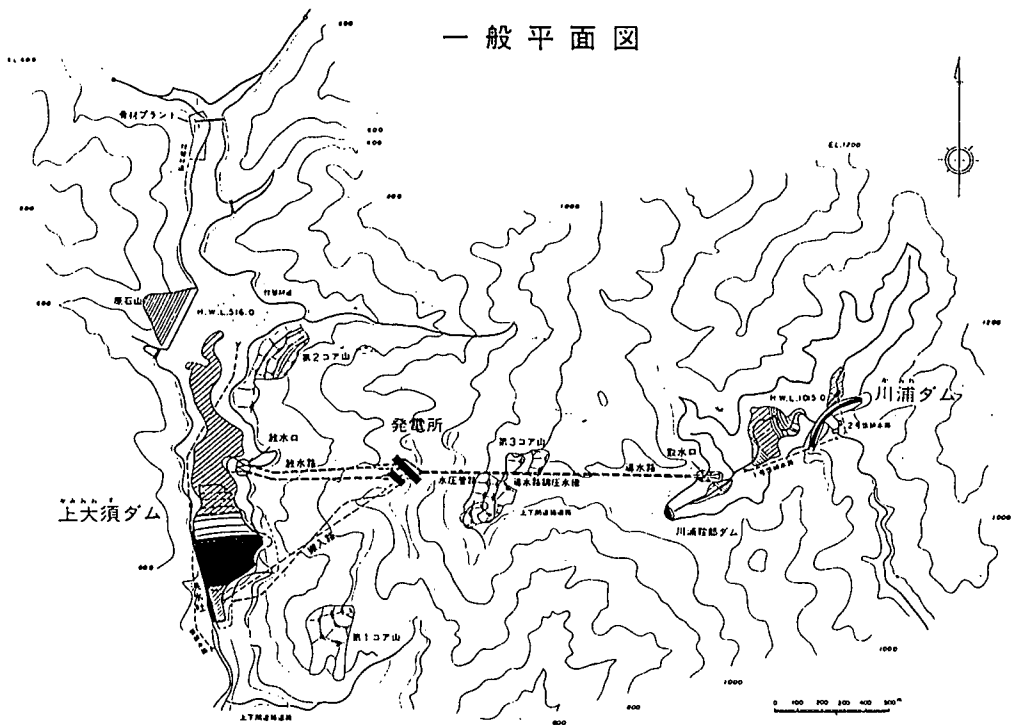


図-37 奥美濃揚水発電水力貯水池位置図

5 水の供給と需要の整合

温帯モンスーン地域に位置する、日本や台湾における年降水量は、 $2000\text{mm}/\text{年}$ 前後で、世界の平均年降水量 $973\text{mm}/\text{年}$ と比べると、かなり多い方であるが、降水による水の供給は季節的にも場所的にも著しく偏っているために、自然の水供給と人間の水需要との整合性を欠いている場合が多い。

したがって、温帯モンスーン地域における、河伏係数の大きい、溪流河川の降雨流出は、季節的に、場所的に偏っている。また、溪流河川の降雨流出は、流域面積の大小、地形、地質、植生等によって左右されるが、流量変化が急激で、尖鋭なハイドログラフを示している。さらに、河床変動が激しく、多量の土砂・石礫が流下している。

このような温帯モンスーン地域における、溪流河川を水源として水の供給を行う場合には、自然の水の供給と人間の水需要との整合を図るための利水システムが設けられる必要がある。

一方、河川の基準渇水自流量が水需要量よりも大きい場合には、自然の水供給は人間の水需要と十分整合し得るために、特別の利水システムを設ける必要はないであろうが、水需要量が河川の基準渇水自流量を越える場合には、河川の自流量で、日々、あるいは季節的に、不足す

る部分の流量を、その開発流量まで補う必要がある。この補給流量を供給と需要とを整合させる利水システムとして、貯水容量を確保するために建設されるものが貯水池である。

しかし、溪流河川本流を締め切って貯水池を築造することは、3.1で述べたように、必ずしも安定した水供給を保証するものではない。前章で述べたように、溪流河川本流、あるいは隣接溪流河川に設置した溪流取水工による取水を導水貯留して、水供給を行う、溪流取水工（群）と貯水池とからなる利水システムは、河状係数が大きく、降雨、流出が季節的に大きく変動し、多量の土砂・石礫が流下する温帯モンスーン地域における溪流河川からの取水方式としてきわめて有効な利水システムである。しかして、この利水システムにおける溪流取水工は、溪流河川地形、流況、取水目的、取水量に応じた型式でなくてはならない。前述のとおり、バースクリーン後方取水型溪流取水工は、溪流河川の流量の変化にもかかわらず、安定した計画取水が可能であり、汎用性のある溪流取水工として適用事例が多くなっている。また、バースクリーン複合型溪流取水工は、平水時は勿論高水時安定した大量の取水が可能であるので、温帯モンスーン地域における溪流河川を水源とする、自然の水供給と人間の水需要との整合を図る利水システムとして、すぐれた効能を発揮するものと思われる。

6 ま と め

溪流河川からの取水方式、取水工の型式は、溪流河川地形、取水目的、取水量に適したものではなくてはならない。

溪流河川からの取水方式は、

- ① 溪流河川本流、または溪流河川本流外に貯水池を設ける貯水池方式
- ② 取水目的、取水量、及び溪流河川地形に応じて取水工を設置する溪流取水工方式

に大別することができる。

溪流取水工の型式には、開発の段階に従って、それぞれ独自の水理特性を有するものがあるが、バースクリーン後方取水型溪流取水工、及びバースクリーン複合型溪流取水工は、水理特性、ならびに水理実験、施工事例の機能調査の結果から、

- ① 溪流河川地形、取水目的、取水量に応じた水理構造設計を行うことによって、平水時においても、高水時においても、急激な流量変化にかかわらず、安定した計画取水が可能である。
- ② 段落高さによって、バースクリーン取り付け角度（ 45° ～ 60° ）を設定することによって、流下土砂礫、浮遊流下物によるバースクリーンの目詰まりを防止することができる。
- ③ コンクリート摩損防止対策を講ずる必要はあるが、流石、流木等に対して堅牢である。
- ④ 設置した取水量調節ゲート（角落し堰）以外には取水上損作すべきゲートの設置を必要としないので、構造が簡単で、維持管理が容易である。取水規模によっては、組立て、可

搬式のものを設置することができる。

⑤ 河川地形，流況に応じた，取水制限流量放流口を設けることができる。

⑥ 積雪の重圧に耐え，氷圧によって破壊されにくいので，溪流河川が凍結しない限り，積雪下の取水は可能である。

こと等を確認した。このことから，バースクリーン後方取水型溪流取水工，及びバースクリーン複合型溪流取水工は，溪流取水工の具備すべき要件をよく満たすものであり，汎用性を有する溪流取水工であることを明らかにした。

降雨，流出が，季節的に，時間的に著しく偏り，河状係数の大きい，温帯モンスーン地域の溪流源河を水源として，自然の水供給と人間の水需要とを整合させるためには，溪流河川本流または隣接溪流河川に設置した溪流取水工（群）と，溪流河川外に建設した貯水池とからなる利水システムすなわち溪流取水工（群）と貯水池とからなる利水システムが有効である。

7 あとがき

降雨，流出が季節的に，時間的に大きく偏り，流量変動の激しい溪流河川に水源を求めて用水を確保する場合には，溪流河川地形，流況，取水目的，取水両に適した，溪流取水工の開発と利水システムの設定が必要である。本研究は，“落穂拾いの研究”として，これまでの溪流取水工に関する研究成果をとりまとめたものであるが，内容は，昭和62年度～平成元年度，文部省科学研究費補助金（試験研究）の助成を受け，

研究代表者：山 本 光 男（明治大学農学部教授）

研究分担者：秋 吉 康 弘（宮崎大学農学部助教授）

久 保 成 隆（東京大学農学部助手）

河 合 熙 久（中部電力土木建築部次長）

望 月 弘 宣（葵エンジニアリング計画部主任）

の研究組織によって行った，「汎用バースクリーン後方取水型溪流取水工の開発」に関する研究成果に，その後の研究成果を充足したものである。

本研究を進めるに当たって，一方ならぬ，御協力，御高配を賜った，水資源開発公団三重用水建設所，長野県夜間瀬地区灌漑排水事業組合，チッソ動力本部水力センター，中部電力，葵エンジニアリング，ならびに，台湾省，台湾大学，行政院農業委員会，水利局，農田水利会の関係各位に対して，深甚の謝意を表して止まない。

参 考 文 献

- (1) 山本, 細野: 水クッション型溪流取水工のデフレクター這い上がり高さ, 農土論集67 pp45~50, (1977)
- (2) 山本, 笹沼ら: 水クッション型SIDE STREA INTAKE, pp94~95 農土年講集, (1976)
- (3) 内藤, 山本ら: BACK STREAM INTAKE TYPE 溪流取水工 農土年講集 pp16~17(1973)
- (4) E. B. Wilson, J. A. Stevenson: SIDE STREA INTAKES FOR HYDRO POEWR IN SCOTLAND, A. S. C. E. Po l, JAN. pp1~14, (1966)
- (5) 秋吉: 溪流取水工水クッション構造と跳水現象, 宮崎大農研報, 34- 2, pp 367~382, (1987)
- (6) VEN TE CHOW: OPEN-CHANNEL HYDRAULICS, McGRAW-HILL, pp337~340, (1959)
- (7) 土木学会: 水理公式集, pp294~295, (1985)
- (8) 川合: 溪流取水工の水理設計について, 水と土(22), (1975)
- (9) 山本, 西田ら: BAR SCREEN BACK STREAM 型溪流取水工, 土木年講集, pp548~549 (1977)
- (10) 山本, 松浦ら: BAR SCREEN BACK STREAM 型溪流取水工の取水特性とその適用性, 農土年講集, pp28~29, (1978)
- (11) 山本, 角谷: BAR SCREEN 後方取水型溪流取水工 SCREEN 開度・水クッション諸元と取水特性, 農土年講集, pp66~67, (1988)
- (12) 山本, 望月: 汎用性バースクリーン後方取水型溪流取水工, 農土年講集, pp38~39, (1989)
- (13) 山本: 溪流取水工の取水特性に関する研究, 明大農研報, 52, pp18~19, (1980)
- (14) 山本, 小島: バースクリーン複合型溪流取水工の取水特性, 農土年講集, pp534~535, (1990)
- (15) 迎: 越流水横取水型の堰堤取水口と, これらの補助施設としての新構想の盲集暗きよ設備, 土木技術, 33- 4, pp34~41, (1987)
- (16) 石田: 溪流取水工の一方法, 発電水力, 125, pp72~75, (1973)
- (17) 山本, 久保ら: 汎用バースクリーン後方取水型溪流取水工の開発, 文部省科研費(試験研究)研究成果報告書, pp33~62, (1990)
- (18) 山本: 河川地形興取水方式之研究, 台湾農委会水利特刊集, No. 1 pp31~34, (1989)
- (19) 山本, 榊田ら: 三重用水溪流取水工, 水資公団三重用水建設所, pp1~93, (1982)
- (20) 愛媛県企業局: 道前道後発電所概要, (1987)
- (21) 迎: わが社の溪流水口について, チッソ(株)技術本部, pp1~41 (1989)
- (22) 長野県: 県営かんがい排水事業夜間瀬地区計画概要, (1987)
- (22) 中部電力: 奥美濃水力発電所計画概要, (1989)